

Aus der
Orthopädischen Klinik
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

**Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur funktionellen
Instabilität am oberen Sprunggelenk
-Stabilometrie, Lagesinn und Muskelkraft-**

***Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät***

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2005

vorgelegt von: Udo Krück
geb. am 23.01.1967 in Landstuhl

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY	5
2. EINLEITUNG	9
3. ANATOMIE DES SPRUNGGELENKS	
3.1. Topographische Anatomie	15
3.2. Funktionelle Anatomie	16
4. NEUROPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN	
4.1. Propriozeption und zentrale Verschaltung	20
5. PATHOPHYSIOLOGIE DES OBEREN SPRUNGGELENKS	
5.1. Anterolaterale Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenks	24
5.2. Funktionelle Instabilität des oberen Sprunggelenks	25
6. DIAGNOSTIK	
6.1. Anamnese und klinische Untersuchung	28
6.2. Röntgenuntersuchung	29
6.2.1. Nativaufnahmen	29
6.2.2. Gehaltene Aufnahmen des oberen Sprunggelenks	29
6.2.3. Arthrographie	31
6.2.4. Computertomographie	32

6.3.	Sonographie	32
6.4.	Magnetresonanztomographie	33
6.5.	Arthroskopie	33
6.6.	Diagnostik der funktionellen Instabilität	33
6.7.	Hypothese	34

7. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

7.1.	Gruppe	35
7.1.1	Gruppe 1 (einseitig instabil)	35
7.1.2.	Gruppe 2 (stabil nach Trauma)	36
7.1.3.	Gruppe 3 (Kontrollgruppe)	38
7.2.	Fragebogen	39
7.3.	Instabilitätsscore	40
7.4.	Klinische Untersuchung	42
7.5.	Radiologische Untersuchung	43
7.6.	Lagesinn	43
7.7.	Kraftmessung	46
7.8.	Untersuchungen zur Standsicherheit mit dem CHATTECX Balance System	47
7.8.1.	Beschreibung des Systems	47
7.8.2.	Arbeitsweise des Systems	49
7.8.3.	Versuchsaufbau und Versuchsablauf der Tests	55
7.8.4.	Auswertung	58
7.9.	Methodik der statistischen Auswertung	60

8. ERGEBNISSE

8.1.	Auswertung des Fragebogens	61
8.2.	Ergebnisse der klinischen Untersuchung	62
8.3.	Ergebnisse der Score-Auswertung	64
8.4.	Ergebnisse der Röntgenuntersuchung	68
8.5.	Ergebnisse der Untersuchung des Lagesinns	69
8.6.	Ergebnisse der Kraftmessung	71
8.7.	CHATTECX Balance System	72
8.7.1.	Dispersion	72
8.7.1.1.	Beidbeinstand	72
8.7.1.2.	Einbeinstand	73
8.7.2.	Lastverteilung	77
8.7.2.1.	Beidbeinstand	77
8.7.2.2.	Einbeinstand	79
8.7.3.	Ergebnisse des Leistungstests unter visueller Kontrolle	84
8.8	Zusammenfassung der Ergebnisse	85

9. DISKUSSION

9.1.	Fragebogen	87
9.2.	Klinische Untersuchung	88
9.3.	Instabilitätsscore	89
9.4.	Röntgenuntersuchung	90
9.5.	Kraftmessung	91
9.6.	Lagesinn	92
9.7.	CHATTECX Balance System	95
9.7.1.	Lastverteilung	95
9.7.2.	Dispersion	96
9.7.3.	Leistungstest unter visueller Kontrolle	100
9.8.	Zusammenfassende Diskussion	101

10. LITERATURVERZEICHNIS	105
---------------------------------	------------

11. ANHANG

11.1.	Danksagung	113
11.2.	Lebenslauf	114

1. ZUSAMMENFASSUNG

Verletzungen am oberen Sprunggelenk zählen zu den häufigsten Sportverletzungen. Neben frischen Verletzungen am Sprunggelenk mit Zerreißung des lateralen Kapsel-Bandapparates gibt es das Krankheitsbild der chronischen Instabilität am oberen Sprunggelenk. Man unterscheidet zwischen mechanisch bedingter chronischer Instabilität und funktioneller Instabilität mit erhaltener Bandstabilität. Während die mechanisch bedingte Instabilität mittels klinischer und apparativer Untersuchung leicht zu diagnostizieren ist, kann man die funktionelle Instabilität mit den herkömmlichen Methoden nicht nachweisen.

In dieser Arbeit wird geprüft, ob die verwendeten Untersuchungsmethoden zur Diagnostik der funktionellen Instabilität geeignet sind und welche Ursachen dieser Form der Instabilität zugrunde liegen.

Dazu wurden 25 einseitig funktionell instabile Patienten untersucht, bei denen vorher klinisch und radiologisch eine laterale Bandinstabilität ausgeschlossen worden war. Es wurden stabilometrische Tests mit dem CHATTECX Balance System durchgeführt. Mit diesem System sind statische und dynamische Tests durchführbar. Zusätzlich wurde der Lagesinn am Sprunggelenk mit einem Winkelreproduktionstest untersucht. Mittels Messung der isometrischen Kraft und einer klinisch-neurologischen Untersuchung wurden bekannte Ursachen einer Instabilität am Sprunggelenk ausgeschlossen.

Die ermittelten Ergebnisse wurden im Vergleich mit der gesunden Sprunggelenkseite der instabilen Patienten ausgewertet und mit 2 weiteren Gruppen verglichen. Bei der einen Gruppe handelte es sich um 22 sprunggelenksgesunde Personen (Kontrollgruppe), die andere Gruppe setzte sich aus 30 Personen zusammen, bei denen eine frühere Kapsel-Bandverletzung subjektiv und objektiv stabil ausgeheilt war (Gruppe 2).

Bei der Lagesinnuntersuchung konnte bei Gruppe 1 eine einseitige, signifikant erhöhte Winkelabweichung festgestellt werden. Bei den stabilometrischen Tests mit dem CHATTECX Balance System zeigte sich ebenfalls eine einseitig signifikant schlechtere Standsicherheit am instabilen Gelenk. Diese Standunsicherheit war nur in den Versuchen mit stabiler Standfläche und geschlossenen Augen nachweisbar. In den anderen Versuchen, bei denen zusätzlich Afferenzen von Gleichgewicht und Auge zum Tragen kamen, konnte keine verminderte Standsicherheit gefunden werden.

Das streng einseitige Auftreten der ermittelten Unterschiede und die Tatsache, dass die funktionelle Instabilität nur in den Versuchen nachweisbar ist, bei denen Afferenzen von Gleichgewichtsorgan und visuellem System fehlen und somit die Stabilität nur vom propriozeptiven System gesichert wird, spricht für ein peripheres, propriozeptives Defizit als Ursache der funktionellen Instabilität.

Zur Therapie und zur Prophylaxe einer funktionellen Instabilität ist eine aktive Stabilisierung der Sprunggelenke anzustreben. Dabei wird durch ein Reflextraining auf neurophysiologischer Grundlage die funktionelle Instabilität durch Schulung der Propriozeption verringert.

1. SUMMARY

Injuries to the ankle joint count among the most frequent sports injuries. In addition to new ankle-joint injuries with rupture of the lateral capsular ligaments, there is the chronic ankle-joint instability syndrome. We distinguish between chronic instability of mechanical origin and functional instability with ligamentous stability. While it is easy to diagnose mechanical instability by means of appropriate clinical examination methods and equipment, traditional methods fail when trying to detect functional instability.

The purpose of this thesis is to study the suitability of the methods used in order to diagnose functional instability and to determine the causes of this form of instability.

A group of 25 patients with unilateral functional instability was selected who had undergone clinical and radiological examinations to ensure that they did not suffer from an instability of the lateral ligament. We conducted stabilimetric tests, using the CHATTECX balance system, which includes both static and dynamic tests. In addition, an angle reproduction test was carried out to study the posture sense with regard to the ankle joint. By measuring the isometric force and performing additional cliniconeurological examinations, the known causes of ankle-joint instability were ruled out.

The test findings were analysed in the light of the healthy side of the patients' ankle joint and compared with two other groups of patients, one consisting of 22 stable ankles, the other of 30 people with a history of previous injury to the capsular ligament which had been fully restored to stability, both by subjective and objective evaluation criteria.

Examination of the posture sense in the patients with functional instability showed a significant unilateral increase in angular deviation. Stabilimetric tests by means of the CHATTECX balance system also produced values pointing to a significantly poorer unilateral stability in the unstable joint. This instability could only be detected in tests performed while the patients were standing on a stable surface and had their eyes closed. Other tests involving stimuli relating to the sense of equilibrium and the eyes failed to confirm the reduced stability.

The strict unilateralism of the findings and the fact that functional instability could only be observed in tests in which stimuli relating to the sense of equilibrium and the sense of vision were excluded and stability, therefore, was the result of proprioception, suggest that functional instability is due to a peripheral proprioceptive deficit.

For therapy and prophylaxis in functional instability to be successful, the ankle joint requires active stabilization. Training the reflexes at the neurophysiological level, thus improving proprioception, will therefore reduce functional instability.

2. EINLEITUNG

Epidemiologische Studien zeigen, dass Verletzungen des oberen Sprunggelenks zu den am häufigsten auftretenden Sportverletzungen überhaupt zu zählen sind. Der Anteil der Verletzungen am oberen Sprunggelenk im Gesamtkollektiv betrug für das Jahr 1987 laut einer retrospektiven Studie der Marburger Uniklinik für Unfallchirurgie 29,31% (KNAEPLER, 1989). 51% aller Verletzungen der unteren Extremität waren bei dieser Studie am oberen Sprunggelenk lokalisiert (KNAEPLER, 1989). Andere groß angelegte Studien kommen zu ähnlich hohen Ergebnissen (WATSON, 1984; FRANKE, 1986; STEINBRÜCK, 1992).

Laut JEROSCH (2001) ist das Supinationstrauma des oberen Sprunggelenks einer der häufigsten Verletzungsmechanismen des menschlichen Bewegungsapparates mit seit Jahren steigender Tendenz der Unfallzahlen. HERTEL (2002) berichtet von circa 23000 Läsionen des Kapsel-Band-Apparates täglich in den USA im Jahr 1996.

Sprunggelenksverletzungen sind auch heute noch die häufigsten Sportverletzungen (DI GIOVANNI, 2004). Die Ruptur der lateralen Sprunggelenksbänder stellt nach HESS (1992) die häufigste Sportverletzung einer Einzelstruktur überhaupt dar. Betrachtet man verschiedene Sportarten hinsichtlich der Verletzungsträchtigkeit am oberen Sprunggelenk, so erreichen Fußballer nahezu den von KNAEPLER (1989) angegebenen Mittelwert von 29,31% anteilmäßiger Sprunggelenksverletzungen. In anderen Sportarten (Basketball, Handball, Volleyball, Jogging, Tennis) wird dieser Prozentsatz noch deutlich übertroffen, sodass bei diesen Sportarten die Sprunggelenksverletzung die sportarttypische Verletzung darstellt. In den USA liegt der prozentuale Anteil der Sprunggelenksverletzungen im Basketball bei männlichen Sportlern bei 38%, bei den weiblichen Basketballspielerinnen sogar bei 45% (GARRICK, 1973). In weiteren Studien ist das Sprunggelenk bei Volleyballern mit einem Anteil von 54% die am häufigsten verletzte Region (BAHR 1997; BRINER 1997).

Diese Zahl wird von deutschen Joggern noch überboten, die mit circa 55% das höchste durchschnittliche Risiko der Verletzung am oberen Sprunggelenk aufweisen (KNAEPLER, 1989). Bemerkenswert ist weiterhin, dass das Rezidivrisiko nach stattgehabter Sprunggelenksverletzung als sehr hoch anzusehen ist (SURVE, 1994). Es wird beim Basketball als etwa doppelt so hoch gegenüber bisher Unverletzten angesiedelt (GARRICK, 1973).

Die Vielzahl von Untersuchungen zum Thema Sprunggelenk hat bisher noch nicht zu einer allseitig anerkannten Behandlungsstrategie geführt. Während durch die zur Verfügung stehende klinische und apparative Diagnostik eine mechanische Instabilität zuverlässig erfasst werden kann (HUBBARD, 2004), gibt es bezüglich der sich anzuschließenden Therapie noch immer Uneinigkeit. Ziel der Behandlung muss primär die Wiederherstellung der mechanischen Stabilität der Bänder des oberen Sprunggelenks sein, da eine mechanische Instabilität häufig zu einer posttraumatischen Arthrose führt (MC KINLEY, 2004).

Nach ZWIPP (1986) und HESS (1992) zeigt die operative Therapie bezüglich mechanischer Stabilität gegenüber der konservativen Therapie die besseren Langzeitergebnisse. Bei konservativ behandelten Patienten ist die subjektive Instabilität jedoch nur unwesentlich höher und circa 90% der so behandelten Sportler sind mit dem Spätergebnis zufrieden (HESS, 1992). Daher müssen beide Therapiemöglichkeiten in einem individuellen Gespräch mit dem Patienten unter besonderer Berücksichtigung von Alter, Beruf, sportlichem Anspruch und Verletzungsschwere erläutert und eine individuelle Behandlungsstrategie festgelegt werden.

Der Nachbehandlung wird oft zu wenig Bedeutung beigemessen. Laut MATTACOLA (2002) ist jedoch die Effektivität des Rehabilitationsprogramms der mitentscheidende Faktor für den Behandlungserfolg. Die Behandlung sollte möglichst bald mit einer frühfunktionellen Therapie mittels Orthesen oder Spezialschuhen beginnen. Es hat sich nämlich gezeigt, dass eine vollständige Immobilisation des Sprunggelenks zur Bandheilung nicht nötig ist. Die Ruhigstellung bewirkt eine deutliche Muskelatrophie sowie eine Verminderung der Kraftentfaltung und hat so gravierende negative Einflüsse auf neuromuskuläre Aktivierungs- und Stabilisierungsmechanismen. Somit ist sie für die nachgewiesene längere Arbeits- und Sportunfähigkeit ursächlich (EGGERT, 1986; KLEIN, 1991; SCHEUFFELEN, 1992; GOLLHOFER, 1993). Weiterhin sollte das Nachbehandlungsregime auf die Sportart des Patienten abgestimmt werden (BROWN, 2004).

Die Ursachen der Außenbandverletzung am oberen Sprunggelenk sowie die hierfür erforderlichen Präventions- und Therapiemöglichkeiten sind unzureichend untersucht. ZWIPP (1986) führte exogene Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Schuhwerk, Schuh-Boden-Kontaktänderung und endogene Faktoren (statische Fehlstellung, muskuläre Dekompensation, neurologisches Defizit) an, die bei fehlender dynamischer Kompensation einer akuten Stresssituation am Sprunggelenk zur Verletzung führen.

Neben diesem akuten Trauma, einer Zerreißung lateraler Kapselbandstrukturen (welche fast alle Verletzten zum Arzt führt), existiert am oberen Sprunggelenk ein Krankheitsbild, bei dem die Patienten von einem „Gefühl der Gangunsicherheit“ berichten. DEMERITT (2002) spricht hier von „rezidivierenden kleineren Umknickereignissen am OSG“. Diese "weniger traumatischen Verletzungen" führen selten direkt zu einer deutlichen Einschränkung der Betroffenen, sodass primär meist keine ärztliche Hilfe in Anspruch genommen wird.

Dieses Krankheitsbild ist indes schon länger bekannt. So stellte FREEMAN (1965b) fest, dass nach einem initialen Supinationstrauma bei 40% der Betroffenen eine erhöhte Umknickneigung im Sprunggelenk auftrat, ohne dass eine mechanische Instabilität bei den nach circa einem Jahr nachuntersuchten Patienten zu finden war. SCHMIDT (2000) bestätigt die Prozentzahl in neueren Berichten. FREEMAN bezeichnete den von Betroffenen geschilderten Zustand als "tendency of the foot to give way". Da er keine mechanische Ursache für die Instabilität bei seinen Patienten finden konnte, prägte er für dieses Krankheitsbild den Begriff der "FUNKTIONELLEN INSTABILITÄT AM OBEREN SPRUNGGELENK".

Als Ursache dieser Erkrankung machte er ein "peripheres propriozeptives Defizit" verantwortlich. Es wird durch die Zerstörung von Mechanorezeptoren der Sprunggelenkscapsel und -bänder beim Initialtrauma verursacht und bewirkt eine Funktionseinbuße des Mechanorezeptoren-Muskelspindel-Sicherungssystems am OSG (FREEMAN 1965a und 1965b). MC CLOSKEY (1978) machte ebenfalls zerstörte Muskel- und Sehnenrezeptoren als Ursache für das Entstehen des Krankheitsbildes verantwortlich und sprach in diesem Zusammenhang von "partieller peripherer Deafferenzierung".

GLENNCROSS und THORNTON (1981) unterstützten Freemans Theorie durch ihre Untersuchungen des Gelenkpositionssinns am oberen Sprunggelenk nach stattgehabtem Trauma. Sie fanden einen schlechteren Gelenkpositionssinn am verletzten Gelenk und sahen die Ursache in einem Verlust funktionsfähiger propriozeptiver Rezeptoren.

Als weiterer Erklärungsversuch wird von mehreren Autoren die unzureichende aktive Stabilisierung des OSG durch die Peronealmuskulatur angeführt (FREEMAN, 1965a; TROPP, 1986; HILLER, 2004). Diese Fehlfunktion sei zum einen in einer unzureichenden Muskelkraft der Peronealmuskulatur zu sehen, zum anderen in einer muskulär bedingten Störung des Reflexkreises.

Die von TROPP (1984a, 1984b, 1985b) durchgeführten stabilometrischen Untersuchungen mit einer Druckmessplatte konnten Freemans Theorie nicht bestätigen. TROPPS Untersuchungen zufolge handelt es sich nicht um ein rein peripheres Geschehen, sondern um eine Störung übergeordneter zentralnervöser Strukturen und/oder neurophysiologischer Abläufe. Diese Störung geht einher mit einem Verlust programmierter Korrektur- und Kompensationsmechanismen, die für die Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts zuständig sind. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt RIEMANN (2004). Er stellte fest, dass die Anästhesie der Außenbänder keinen Effekt auf die Standsicherheit hat und folgte, dass übergeordnete Zentren für einen sicheren Stand überwiegend verantwortlich sind.

KONRADSEN (1990, 1991) fand bei seinen EMG-Ableitungen am M. peroneus longus eine verlängerte Reflexzeit am instabilen Sprunggelenk bei seitengleicher zentraler Reaktionszeit. Diese Ergebnisse sprechen wiederum für ein einseitiges peripheres Geschehen.

SCHMIDT (2000) wiederum beschreibt eine propriozeptive Störung an beiden Beinen in der Akutphase nach einem Supinationstrauma, die an der unverletzten Extremität jedoch rasch rückläufig ist. Dies spricht zumindest für eine zeitweilige Beteiligung übergeordneter Zentren.

Insgesamt ist zu sagen, dass das Krankheitsbild der funktionellen Instabilität am oberen Sprunggelenk trotz allgemein anerkannt hohem Auftreten (BOSIEN, 1955; FREEMAN, 1965a; EVANS, 1984; KLEIN, 1991) bezüglich Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik und vor allem Therapie und/oder Prävention noch unzureichend geklärt ist. Die Frage, ob es sich um eine zentrale oder periphere Störung handelt, ist weiterhin ungeklärt; ebenso die Frage, ob die funktionelle Instabilität Folge eines Traumas oder vorbestehend ist.

3. ANATOMIE DES SPRUNGGELENKS

3.1. Topographische Anatomie

Das obere Sprunggelenk, die *Articulatio talocruris*, besteht aus der Knöchelgabel, gebildet von der distalen Tibia (*Malleolus medialis*), der distalen Fibula (*Malleolus lateralis*) und der Talusrolle (*Trochlea tali*). 3 Bandsysteme sichern einerseits die Stabilität der Knöchelgabel selbst und andererseits die Stabilität und Führung der Malleolengabel mit der Talusrolle.

Das Lig. deltoideum stellt den medialen Bandapparat dar. Es verbindet die Spitze des medialen Malleolus mit dem Os naviculare als Lig. tibionaviculare mit dem Kalkaneus als Lig. tibiocalcaneare. Beide Bänder bilden die oberflächliche Schicht des Lig. deltoideum. Die tiefe Schicht besteht aus einer vorderen und einer hinteren Verbindung des Innenknöchels zum Talus, dem Lig. tibiotalare anterius und posterius.

Die Syndesmosis tibiofibularis verbindet und stabilisiert die distale Tibia und Fibula mit den Lig. tibiofibulare anterius und posterius, also dem vorderen und hinteren Syndesmosenband und dem Lig. tibiofibulare transversum. Nach cranial ist das Schienbein mit dem Wadenbein über die Membrana interossea verbunden, welche nach distal in das sehr variable Lig. tibiofibulare interosseum übergeht (JÄGER und WIRTH, 1978).

Der fibulare Kapselbandapparat stellt das klinisch wichtigste Bandsystem am oberen Sprunggelenk dar. Es besteht aus drei Bandzügen, von denen der vordere und der hintere Anteil, also das Lig. fibulotalare anterius und posterius, fest mit der Gelenkkapsel verbunden sind, während das Lig. fibulocalcaneare als runder fester Strang extrakapsulär verläuft. Das Lig. fibulotalare anterius stellt den am häufigsten verletzten Anteil des Außenbandes dar (HESS, 1992). Es verläuft von der Vorderfläche des distalen Außenknöchels nahezu horizontal (bei Neutral-Nullstellung im OSG) nach

vorn medial zum Talushals. Es ist mit einer Länge von circa 14 bis 18 mm, einer Breite von 6 bis 11 mm und einer Dicke von circa 2 mm der substantiell-biomechanisch schwächste Bandanteil am Außenknöchel (ZWIPP, 1986).

Das Lig. fibulocalcaneare ist 25,5 bis 34,5 mm lang, circa 5 bis 10 mm breit, 2,5 bis 3,5 mm dick und verläuft von der Außenknöchelspitze schräg nach distal-dorsal zum Calcaneus (ZWIPP, 1986). Die Bandaußenfläche bildet eine leichte Rinne, in der die Mm. peronei gleiten können (JÄGER und WIRTH, 1978).

Den stärksten und klinisch am seltensten betroffenen Bandanteil stellt das Lig. fibulotalare posterius dar (Länge circa 18,5 bis 23,5 mm, Breite circa 6,5 bis 9,5 mm, Dicke circa 3,5 bis 5,5 mm). Es verläuft nahezu horizontal vom Tuberculum laterale des Processus posterior tali in eine Grube unterhalb der Gelenkfläche des Außenknöchels (ZWIPP, 1986).

3.2. Funktionelle Anatomie

Das obere Sprunggelenk ist kein reines Scharniergelenk. Neben der regelhaften Scharnierbewegung, also der Dorsalextension und Plantarflexion um eine annähernd durch die Knöchelspitzen verlaufende sagitale Bewegungsachse, ist außerdem eine Rotationsbewegung möglich. Diese Rotation wird durch die spezielle Morphologie des Talus ermöglicht. Nach INMAN (1976) stellt die Trochlea tali den Ausschnitt eines Kegelmantels dar, dessen Spitze nach medial zeigt und der ventral wesentlich breiter ist als dorsal. Somit sind bei dorsalflektiertem Fuß keine seitlichen Bewegungen im oberen Sprunggelenk möglich, da der breite vordere Anteil des Talus in dieser Stellung fest in der Knöchelgabel fixiert ist (BAUMGÄRTEL, 1992). Da in dieser Position das vordere und das hintere Syndesmosenband maximal angespannt sind, ist die größtmögliche Gelenkstabilität erreicht. Bei zunehmender Plantarflexion wird die Umklammerung um den schmaleren hinteren Teil des Talus immer weniger fest. Die Gelenkstabilisierung erfolgt somit in zunehmendem Maße durch den Seitenbandapparat.

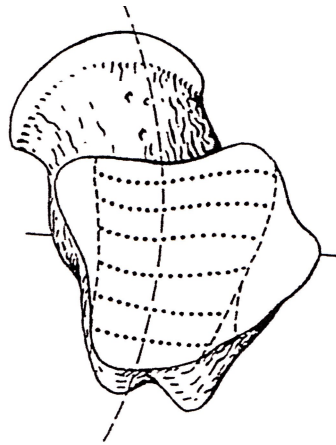
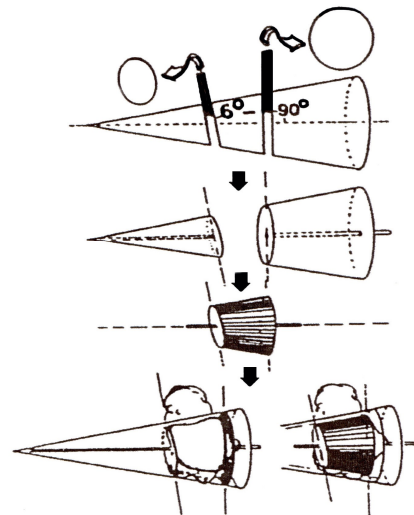


Abb. 1: Rechter Talus von oben mit dem Verlauf des medial geöffneten Krümmungsbogens der Trochlea tali (nach SCHMIDT, 1981).



Schematische Darstellung der Trochlea tali als Teile eines Kegelstumpfes mit nach medial um 6° angeschrägter Schnittfläche (nach IMMAN, 1976).

Analog zu Untersuchungen von KAPANDJI (1985) konnte WIRTH (1978) zeigen, dass nur ein anatomisch korrekter Verlauf der Außenbänder einen physiologischen Bewegungsablauf im Sprunggelenk ermöglicht. Bei falscher Position ist entweder der Stabilisierungseffekt der Bänder durch Erschlaffung verringert oder die Beweglichkeit durch verstärkte Anspannung eingeschränkt.

Das Lig. fibulotalare anterius verläuft bei Plantarflexion in der Fibulalängsachse. Es ist bei forcierter Plantarflexion maximal angespannt und verhindert in dieser Position bei fast rein ligamentärer Führung des Gelenks die Taluskipfung und den Talusvor-schub.

Das Lig. fibulocalcaneare verläuft bei maximaler Dorsalextension nahezu in Längsrichtung der Fibula. Es ist in dieser Position besonders bei zusätzlicher Supination-Inversion am stärksten gespannt. Nach INMAN (1976) ist der physiologische Winkel von im Mittel 105° zwischen vorderem und mittlerem Band entscheidend für eine konstante Gelenkstabilisierung durch die Bänder über den ganzen Gelenkspielraum. Die Spannung des Lig. fibulotalare posterius ist in Dorsalextension am größten, verringert sich zur Neutral-Null-Position hin, um sich bei Plantarflexion wieder etwas anzuspannen.

Für die dynamische Stabilisierung des Sprunggelenks sind die gelenkübergreifenden Unterschenkelmuskelgruppen zuständig. CASTAING (1961) bezeichnete die Mm. peronaei als die aktiven Außenbänder am oberen Sprunggelenk. 75% der Gesamtleistung aller pronatorisch wirkenden Muskeln wird vom M. peronaeus longus und brevis erbracht (LANZ und WACHSMUT, 1972). Die maximale Arbeitsleistung der Pronatoren ist verglichen mit der der Supinatoren natürlich gering, dadurch ist jedoch eine Störung der Muskelbalance umso bedeutender für das obere Sprunggelenk. Die Mm. peronaei haben ihren Ursprung an dem proximalen und mittleren Fibuladrittel und an den Unterschenkelfaszien. Sie verlaufen sehnig hinter dem Außenknöchel unter dem Retinaculum mm. peronaeorum hindurch zum lateralen Fußrand. Hier setzt der M. peronaeus brevis an der Tuberositas des fünften Mittelfußknochens an. Der M. peronaeus longus durchquert das Fußgewölbe, zieht zum medialen Fußrand und setzt am Os cuneiforme mediale und an der Basis des ersten Mittelfußknochens an.

Dieselbe Ansatzfläche hat der M. tibialis anterior, der als Supinator einen Gegenmuskel zur Peronaealmuskulatur darstellt. Er entspringt von der lateralen Tibia und von der Membrana interossea und zieht zum medialen Fußrand. Hinsichtlich seiner Lage zum M. peronaeus longus werden diese beiden Muskeln als Steigbügelmuskeln bezeichnet.

Den mit Abstand stärksten Muskel am Unterschenkel bildet der M. triceps surae, welcher dorsal der Drehachse am Sprunggelenk verläuft, seinen Ansatz am Calcaneus hat und neben seiner hauptsächlich plantarflektierenden Wirkung noch einen supinatorischen Effekt hat.

4. NEUROPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN

4.1. Propriozeption und zentrale Verschaltung

Die Fähigkeit des Menschen, die Stellung der Gelenke im Raum und ihre Bewegungen als solche wahrzunehmen, wird Propriozeption oder Tiefensensibilität genannt. Die dafür notwendigen Registrier- und Meldestellen, Rezeptoren oder genauer Propriozeptoren genannt, befinden sich in der die Gelenke umspannenden Haut, in den Gelenkkapseln und Bändern selbst und in den die Gelenke bewegenden Muskeln und Sehnen.

Die von diesen Rezeptoren registrierten Informationen werden zentralnervösen Strukturen zugeleitet, dort miteinander verrechnet und mit anderen Meldungen (wie zum Beispiel vom Auge oder Gleichgewichtsorgan) in Beziehung gesetzt. Im ZNS angekommen, können, wenn nötig, auf jeder Ebene Reaktionen auf die einlaufenden Meldungen erfolgen.

Schon früh wurde den Gelenkrezeptoren eine entscheidende Bedeutung bei der Propriozeption beigemessen. FREEMAN (1965a) schloss aus seinen Untersuchungen, dass die Mechanorezeptoren der Sprunggelenke diejenigen Registrierstellen darstellen, die eine aktive Stabilisierung der Sprunggelenke über reflektorische Muskelspannung auslösen.

Diese These konnten FREEMAN und WYKE (1967) in experimentellen Untersuchungen an der Sprunggelenkkapsel von Katzen erhärten. Sie konnten afferente Nervenfasern in unterschiedlichen Durchmessern finden und teilten diese in Fasern des Types I bis IV ein, wobei die Fasertypen I bis III in corpuskulären Strukturen innerhalb der Gelenkkapsel und der Fasertyp IV frei enden.

Die größte Leistungsfähigkeit bezüglich der Propriozeption wird von den Kapsel- und Bandrezeptoren in den entgradigen Winkelpositionen erreicht, da zu diesem Zeitpunkt die höchste Kapsel-Bandspannung vorliegt. Dies führt zur Hauptstimulation der Mechanorezeptoren in der Kapsel und im Gelenk (SCHMIDT, 2000).

Alle Hautrezeptoren stellen korpuskuläre Strukturen dar. Nach ZIMMERMANN (1987) unterscheidet man langsam adaptierende Ruffini-Körperchen und Merkel-Zellen von schnell adaptierenden Meissner-Körperchen und vibrationsempfindlichen Pacini-Körperchen. Ihre Beteiligung an den propriozeptiven Mechanismen konnte von SPRINGS (1981) und SCHENKER (1989) festgestellt werden. Sie fanden bei ihren Untersuchungen, dass das Tragen von Orthesen und/oder das Taping der Sprunggelenke eine Verbesserung der Propriozeption zur Folge hat. Sie erklärten dies durch eine Vermehrung von Afferenzen aufgrund einer erhöhten Hautstimulation.

Ein weiterer Hinweis auf die Bedeutung der Mechanorezeptoren der Haut am Sprunggelenk ist die festgestellte enorm hohe Dichteverteilung im Vergleich zu anderen Hautarealen.

Nozizeptoren sind als freie Nervenendigungen sehr zahlreich in Bändern und Gelenken vertreten. Sie fungieren als hochschwellige Mechanorezeptoren bei Entzündung und Schmerz.

GRIGG et al. (1973) konnte an Patienten mit künstlichem Hüftgelenk und somit weitgehender Gelenkkapselentfernung mit Verlust der darin enthaltenen Gelenkrezeptoren eine immer noch funktionsfähige Propriozeption nachweisen. In nachfolgenden Untersuchungen wurde dann die Bedeutung der Muskelspindeln und Sehnenorgane bei der Propriozeption herausgestellt (FERRELL, 1987).

DIENER et al. (1984) konnten bei EMG-Untersuchungen zwischen einem Stellungssinn, der von Mechanorezeptoren der Haut und der Gelenkkapsel gesteuert wird,

und einem Bewegungssinn unterscheiden. Letzterer war, nachdem die Mechanorezeptoren der Haut und Kapsel lokalanästhetisch ausgeschaltet waren, folglich von Registrierungen der Muskelspindeln und Sehnenorgane abhängig.

Muskelspindeln stellen eine spezielle Form von Muskelfasern dar. Sie liegen, von einer Kapsel umgeben, innerhalb der Arbeitsmuskulatur. Man unterscheidet zwischen primären Muskelspindeln, die von afferenten Typ Ia Nervenfasern innerviert werden und sekundären Muskelspindeln, die von Typ II Fasern afferent innerviert sind. Beide haben eine efferente Innervation über gamma-Fasern. Sie arbeiten zum einen als Dehnungsrezeptoren und korrigieren über den monosynaptischen Dehnungsreflex die Muskellänge und somit den Haltetonus der Stützmotorik, zum anderen können sie durch die gamma-Schleife zentral aktiviert werden und lösen wiederum einen Dehnungsreflex aus. Dies ist bei extremen Spannungs- oder Dehnungszuständen der Muskulatur nötig, um die Messfunktion der Muskelspindeln aufrecht zu halten.

Ein weiteres Kontrollsystem der Muskelspannung stellen die bindegewebig umhüllten GOLGI-Sehnenorgane dar. Sie liegen gehäuft am Muskel-Sehnenübergang, afferent von Typ Ib-Fasern versorgt. Sie werden bei Kontraktion des zugehörigen Muskels aktiviert und verhindern über eine agonistische Hemmung und eine antagonistische Aktivierung eine überschießende Muskelkontraktion.

Das korrekte Zusammenspiel von Muskellängen- und Muskelspannungskontrolle ist für die Stabilität eines Gelenks äußerst wichtig. Das nach ZIMMERMANN (1987) als Steifheit eines Muskels definierte Verhältnis von Muskellänge zu Spannung ist ein Maß für die viscoelastischen Eigenschaften eines Muskels, welche die mechanischen Elemente bei der Sicherung eines Gelenks unterstützen. Dies ist besonders wichtig bei Überlastung der Bänder bei einem Gelenktrauma, da aktive Kompensationsmechanismen meist zu spät eingreifen können (THONNARD, 1986; SCHENKER, 1989).

Schon frühzeitig wurde eine Differenzierung in Gelenksinn und Muskelsinn vorgenommen (GANDEVIA, 1976). Der Stellungssinn wurde als eine kombinierte Wahrnehmung von Gelenksinn (Gelenkrezeptoren) und Muskelsinn (Muskelrezeptoren) angesehen. Die einzelnen Komponenten des sensorischen Systems lassen sich in ihrer Verschaltung nicht voneinander trennen. Entscheidend ist das korrekte Zusammenspiel aller peripherer Afferenzen. Besonders zu erwähnen ist der Einfluss der Nozizeptoren auf die afferenten Non-Nozizeptoren während eines Schmerzreizes. Wenn die Nozizeptoren während eines Schmerzereignisses voll aktiv sind, kommt es zum Verlust des Positionssinns (SCHMIDT, 2000).

Die aufrechte Haltung und die Lokomotion des Menschen läuft primär nicht reflexgesteuert, sondern programmgesteuert nach erlernten Bewegungsmustern ab (ZIMMERMANN, 1987). Bei der Störung eines programmierten Bewegungsablaufs und eventuell zusätzlich auftretender akuter Stresssituation kommen reflexgesteuerte Korrektursysteme zum Tragen, die über ein komplexes Zusammenspiel auf propriozeptiver, spinaler und kortikaler Ebene für einen Ausgleich der Störung sorgen sollen.

5. PATHOPHYSIOLOGIE AM OBEREN SPRUNGGELENK

5.1. Anterolaterale Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenks

Das Supinationstrauma mit Ruptur des Lig. fibulotalare anterius und/oder fibulocalcaneare führt zu einer Instabilität des Talus in drei Ebenen. In der Frontalebene kommt es zu einer Varusverkipfung des Talus, in der Sagitalebene zum ventralen Talusvorschub und in der Transversalebene zur abnormen Innenrotation. Pathomechanisch wird dieser Zustand durch den Begriff der anterolateralen Rotationsinstabilität am besten beschrieben (ZWIPP, 1986; ZWIPP, 1989).

Die Entstehung der fibularen Bandruptur ist bedingt durch verschiedene ätiologische Faktoren. Ein gestörter Bewegungsablauf, eine fehlende muskuläre Reflexsicherung oder die Ermüdung am Ende eines Wettkampfs sind Beispiele, die bei ungenügender dynamischer Kompensation der akuten Streßsituation zur Überforderung der kollagenen Bandfasern mit deren Ruptur führen. Prädisponierend für das Auftreten dieses Supinationstraumas ist nach ganganalytischen Untersuchungen von MORSCHER et al. (1981) die physiologische Varusstellung des Rückfußes, bedingt durch den medialen Zug der Achillessehne während der Schwungphase. Dies bedeutet, dass die Belastung der Ferse in einer instabilen Lage beginnt. Kommt es vor Stabilisierung des Rückfußes zu einem zusätzlichen Supinations-Adduktionsstress, dann werden die lateralen Kapselbandstrukturen zunehmend belastet. Dies führt bei genügend hoher Krafteinwirkung zu einem Missverhältnis zwischen Beanspruchung und Beanspruchbarkeit der Bänder und zu deren Überdehnung bis zur Ruptur (MUTSCHLER, 1989).

Nach Untersuchungen von RASMUSSEN et al. (1983) führt eine gewaltsame Innenrotation des Fußes am ehesten zur Ruptur des Lig. fibulotalare anterius, während ein reines Adduktionstrauma die Ruptur des Lig. fibulocalcaneare induziert.

Nach JÄGER und WIRTH (1978) und ZILCHNER (1990) stellt das forcierte Adduktions-Supinations-Inversionstrauma des Fußes den häufigsten Verletzungsmodus dar. Dabei kommt es zuerst zu einem Riss des Lig. fibulotalare anterius. Bei noch stärker eintretenden Kräften kommt es zu einer Luxation des Talus nach ventral mit einer Kippbewegung um bis zu 10° und zu einer Ruptur des Lig. fibulocalcaneare. Selten ist die Krafteinwirkung so groß, dass zusätzlich noch das Lig. fibulotalare posterius reißt und der Talus luxiert.

Dieser hintere Bandanteil des Außenbandes ist am stärksten ausgebildet und rupturiert äußerst selten. Er spannt sich bei Dorsalflexion im oberen Sprunggelenk maximal an und wird somit beim typischen Verletzungsmodus verschont.

Nach ZWIPP (1986) zeigen 75% aller Supinationstraumen mit Bandruptur intraoperativ eine kombinierte Verletzung der Ligg. fibulotalare anterius und calcaneare. Dies spricht ebenfalls für den oben genannten Verletzungsmodus in Adduktions-Supinations-Inversionsrichtung.

5.2. Funktionelle Instabilität des oberen Sprunggelenks

Davon zu unterscheiden ist eine von Patienten geschilderte subjektive Gangunsicherheit, insbesondere auf unebenem Gelände mit rezidivierenden, wenig traumatischen Umknickereignissen. Bei manchen Patienten beschränkt sich diese Umknickneigung auf den Sport, andere berichten von häufigem Umknicken auch im Alltag. Die Frequenz dieser Ereignisse ist ebenfalls sehr variabel. Sehr viele dieser Patienten haben Angst vor einem schweren Umknickereignis und fühlen sich im Alltag und vor allem beim Sport und/oder bei der Auswahl der Sportart in ihren Möglichkeiten eingeschränkt.

FREEMAN (1965a) fand bei seinen Untersuchungen heraus, dass bei ca. 40% der Patienten nach vorangegangenen Supinationstrauma in der Folgezeit eine erhöhte Umknickneigung auftrat. Er machte einen Verlust von Mechanorezeptoren durch das Trauma dafür verantwortlich.

GLENNCROSS und THORNTON (1981) unterstützten Freemans Theorie nach ihren Untersuchungen zur Bedeutung des Gelenkpositionssinns nach einem Gelenktrauma. MC CLOSKEY (1978) bestätigte ebenfalls diese These, machte jedoch den Verlust von Muskelspindeln und Sehnenorganen für das Entstehen einer partiellen, peripheren Deafferentation der kinästhetischen Reflexe verantwortlich.

TROPP (1984a) führte stabilometrische Untersuchungen mit einer Druckmessplatte durch. Er fand dabei Patienten mit schlechteren Stabilometriewerten und konnte zeigen, dass diese Patienten in der Folgezeit ein statistisch höheres Risiko für das Auftreten erneuter Umknickereignisse hatten. TROPP sah die Ursache in einem ihm unbekannten Defekt in übergeordneten zentralnervösen Strukturen oder neurophysiologischen Abläufen. Er stützte diese Meinung durch die Beobachtung, dass bei seinen funktionell instabilen Patienten auch auf der anamnestisch gesunden Seite erhöhte Stabilometriewerte zu finden waren.

JEROSCH (1993) fand bei Untersuchungen zur Propriozeption mittels Einbeinstand- und Einbeinsprungtest eine einseitige Standunsicherheit am verletzten Gelenk gegenüber dem gesunden Gelenk.

KONRADSON (1990, 1991) leitete die motorische Reflexantwort mittels EMG bei Simulation eines Supinationstraumas ab und fand eine einseitig signifikant verzögerte Reflexantwort bei unilateral funktionell instabilen Patienten. Diese Erkenntnis legte wiederum das Vorhandensein eines peripheren, propriozeptiven Defizits nahe. GLEITZ (1992) fand bei seinen Reflexableitungen ebenfalls eine einseitig verzögerte Reflexantwort des M. peroneus longus auf eine plötzliche Supination.

LIPKE (2001) untersuchte die Beeinflussbarkeit der peronealen Reaktionszeit. Er fand, dass diese weitestgehend stabil ist, jedoch mit dem Alter der Personen zunimmt.

Bei FREEMAN (1965a, 1965b, 1967), TROPP (1984a, 1984b, 1986) und KONRADSON (1990, 1991) befanden sich in den Patientenkollektiven jeweils Patienten mit früher bestandener oder aktueller mechanischer Instabilität, die bezüglich ihrer funktionellen Instabilität untersucht wurden. Somit ist nicht klar, ob eine funktionelle Instabilität die Ursache eines aufgetretenen Supinationstraumas mit Außenbandverletzung war oder ob ein adäquates Supinationstrauma eine funktionelle Instabilität verursachte.

Zusammenfassend betrachtet stellt die FUNKTIONELLE INSTABILITÄT AM OBEREN SPRUNGGELENK bis heute ein in seiner Ursache ungeklärtes und umstrittenes Krankheitsbild dar.

6. DIAGNOSTIK

6.1. Anamnese und klinische Untersuchung

Zunächst ist nach dem Unfallhergang, dem Verletzungsmechanismus und dem Unfallzeitpunkt zu fragen. Dies kann selten vom Patienten genau geschildert werden. Auskunft über das Ausmaß der Verletzung geben die Fragen nach der posttraumatischen Belastbarkeit des Gelenks: Konnte das Gelenk nicht mehr oder nur noch unter starken Schmerzen bewegt und belastet werden oder konnte ein begonnener Wettkampf zu Ende geführt werden.

Klinisch sieht man einen mehr oder minder stark ausgebreiteten Bluterguss um den Außenknöchel. Dabei ist das Ausmaß des Blutergusses unabhängig vom Verletzungsausmaß. Während dieser Bluterguss meist lateral in der Subcutis lokalisiert ist, umfasst ein Gelenkerguss das Sprunggelenk meist zirkulär. Um Verletzungen oder Luxationen der Peronealsehnen nicht zu übersehen, lässt man den Patienten, soweit dies schmerzbedingt möglich ist, auf Zehenspitzen stehen. Aktive und passive Bewegungen im oberen und unteren Sprunggelenk sind nach einer akuten Verletzung meist schmerzbedingt eingeschränkt.

Die Untersuchung des Sprunggelenks geschieht im Seitenvergleich. Oftmals ist eine Lokalanästhesie schon vor der Untersuchung sinnvoll, da sie bei nachfolgend durchgeführten gehaltenen Röntgenaufnahmen gefordert wird. Man palpiert den Bandverlauf der Außenbänder, wobei ein Druckschmerz an der rupturierten Stelle am häufigsten auftritt. Anschließend werden klinische Bandstabilitätstests wie Talusvorschubzeichen und laterale Aufklappbarkeit durchgeführt. Ein positiver Talusvorschub spricht für eine Ruptur des Lig. fibulotalare anterius. Des Weiteren ist bei Ruptur dieses Bandes bei der Untersuchung in Supination und Adduktion ein Schmerzmaximum vor dem Außenknöchel auszulösen. Für einen Riss des Lig. fibulocalcaneare spricht eine laterale Aufklappbarkeit des Gelenks bei der Adduktion des Rückfußes und der laterale Kantungsschmerz.

Differentialdiagnostisch sind von einer Bandruptur abzugrenzen: Eine Verletzung des unteren Sprunggelenks, eine Fraktur, eine Syndesmosensprengung sowie eine Peronealsehnenluxation.

6.2. Röntgenuntersuchungen

6.2.1. Nativaufnahmen

Zur radiologischen Diagnostik werden zuerst Standardaufnahmen in zwei Ebenen angefertigt, um auszuschließen, dass knöcherne Verletzungen vorliegen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Knöchelgabel bei a.p. Aufnahmen um etwa 20° einwärts gedreht ist, um die Gabelstellung und die Syndesmose beurteilen zu können. Bei den seitlichen Aufnahmen soll der laterale Fußsohlenrand der Röntgenplatte anliegen. Bei Kindern ist eine Vergleichsaufnahme der gesunden Seite unter Umständen erforderlich (TRIEBEL und AHLERS 1993).

Untersuchungen von LOHMAN (2001) haben weiterhin gezeigt, dass eine routinemäßige Kernspintomographie gegenüber den konventionellen Röntgenaufnahmen keine bessere Aussage bezüglich Frakturen erlaubt.

6.2.2. Gehaltene Aufnahmen am oberen Sprunggelenk

Wenn knöcherne Verletzungen ausgeschlossen wurden und der Verdacht einer Kapsel-Bandläsion besteht, sind gehaltene oder Belastungsaufnahmen im Seitenvergleich erforderlich. Dabei wird versucht, eine Subluxation der Trochlea tali zu provozieren, um die ligamentäre Instabilität im oberen Sprunggelenk zu objektivieren und zu dokumentieren. Nach HESS (1992) sind gehaltene Röntgenaufnahmen nur dann von sicherem Aussagewert, wenn sie unter Lokalanästhesie oder in einer anderen Anästhesieform erfolgen. Andernfalls wird durch die aktive, schmerzbedingte

Gegenspannung der Muskulatur das Aufklappen des Sprunggelenks verhindert. Dadurch werden in etwa einem Drittel der Fälle falsch negative Befunde erhoben.

Diese Untersuchungen werden üblicherweise in einer Haltevorrichtung durchgeführt. Bei der gehaltenen seitlichen Aufnahme zur Feststellung eines Talusvorschubs werden die Aufnahmen in Seitenlage im lateromedialen Strahlengang durchgeführt. Der Unterschenkel wird im Knie um etwa 30° gebeugt, Unterschenkel und Kalkaneus werden fixiert. Nun übt man einen definierten Druck in ventrodorsaler Richtung auf die distale Tibiavorderkante aus und röntgt. Die zwischen dem hintersten Teil der Tibiagelenkfläche und dem nächstgelegenen Punkt der Talusoberfläche messbare Distanz entspricht dem Talusvorschub (TRIEBEL und AHLERS, 1993). Die Taluskipfung wird im Sitzen oder in Rückenlage des Patienten durch Aufnahmen in a.p. Projektion untersucht. Das Kniegelenk wird um ca. 20° gebeugt, kranialer Unterschenkel und Fußaußenrand werden im Gerät fixiert. Durch Druck auf die Medialseite der distalen Tibia erzeugt man eine Verkipfung der Trochlea gegenüber der Tibiagelenkfläche, die als sogenannter Öffnungswinkel oder Taluskippwinkel gemessen wird.

Bei einer Belastung mit 15 kp wird ein Talusvorschub von bis zu 5 mm und ein Taluskippwinkel bis 5° als normal angesehen. Bei Bänderdehnung oder Zerrung werden diese Werte in der Regel nicht überschritten. Eine vordere Schublade zwischen 5 und 10 mm und eine Taluskipfung von 5 bis 10° sprechen für eine Überdehnung der Außenbänder und/oder einer Teilruptur entsprechend einer Ruptur des Lig. fibulotalare anterius. Eine Schublade über 10 mm absolut und ein Kippwinkel größer als 10° sprechen für eine zusätzliche Zerreißung des Lig. fibulocalcaneare (ZILCHNER, 1990; TRIEBEL und AHLERS, 1993).

Zu berücksichtigen ist, dass ein vergrößerter Talusvorschub und/oder Kippwinkel die Folge einer älteren unzureichend ausgeheilten Bandruptur sein kann. Liegt eine entsprechende Anamnese vor, so ist diese Untersuchungstechnik nicht geeignet zwischen einem alten und einem neuen Trauma zu unterscheiden (TRIEBEL und AHLERS, 1993).

6.2.3. Arthrographie des oberen Sprunggelenks

Die Arthrographie des Sprunggelenks kann indiziert sein bei Verdacht auf eine Verletzung der Syndesmose sowie der lateralen oder medialen Sprunggelenksbänder. Wegen frühzeitiger Verklebung der verletzten Gelenkkapsel sollte diese Untersuchung in den ersten 24 bis 36 Stunden nach der Verletzung erfolgen. Da es sich um eine invasive Untersuchungstechnik handelt, ist der Patient eingehend über den Untersuchungsablauf und über die möglichen Risiken zu informieren.

Die Untersuchung erfolgt in Rückenlage. Nach Desinfektion und steriler Abdeckung erfolgt die Punktion des Gelenkspalts. Nach richtiger Positionierung und eventuellem Absaugen eines Gelenkergusses werden circa 5 ml Kontrastmittel injiziert, das Gelenk durchbewegt und Aufnahmen in 4 Ebenen angefertigt.

Verletzungen des Lig. fibulotalare anterius zeigen sich in einem unregelmäßigen Kontrastmittelaustritt in die kaudale Spitze des Außenknöchels und in die im Bereich der distalen Fibula gelegenen Weichteile. Tritt zusätzlich Kontrastmittel in die Sehenscheiden der Peronaealsehnen über, so liegt darüber hinaus eine Zerreißung des Lig. fibulocalcaneare vor. Innerhalb des oben angegebenen Zeitraums durchgeführte Untersuchungen zeigen Rupturen des Lig. fibulotalare anterius mit einer Sicherheit von 96% (TRIEBEL und AHLERS, 1993).

Zerreißungen der Syndesmose führen zu einer unregelmäßig berandeten, länglichen Kontrastmittelanreicherung aufsteigend zwischen der distalen Tibia und Fibula. Bei Verletzungen des medialen Bandapparates kommt es zu Kontrastmittelaustritten in die benachbarten Weichteile.

6.2.4. Computertomographie

Neben Frakturen können computertomographisch auch Weichteilverletzungen, insbesondere Syndesmosensprengungen und Achillessehnenverletzungen diagnostiziert werden. Eine Ruptur der Lig. tibiofibulare anterius und/oder -posterius führt zum Klaffen des vorderen und/oder hinteren Syndesmosenbandes. Sind beide Bänder gerissen, so ist die tibiofibulare Distanz insgesamt vergrößert.

Sicherlich ist die Computertomographie nur bei speziellen Fragestellungen und unklarem klinischem Befund indiziert und bietet bei der Frage einer vorliegenden morphologischen Schädigung der Außenbänder keine bessere Aussagekraft. Sie ist somit für den Klinikalltag bei dieser Fragestellung ungeeignet.

6.3. Sonographie

In den letzten Jahren werden in zunehmendem Maße Indikationen für den Einsatz der Sonographie des Stütz- und Bewegungsapparates gefunden. Die Sonographie des oberen Sprunggelenks ist nach GEUSENS (2002) in Kombination mit Röntgenaufnahmen eine geeignete Untersuchungsmethode in der Akut-Diagnostik, da sie schnell, weit verbreitet und günstig ist. So lassen sich zum Beispiel intraartikuläre und extraartikuläre Flüssigkeitsansammlungen differenzieren. Bandverletzungen lassen sich sonographisch indirekt durch eine vermehrte Aufklappbarkeit und/oder einen vermehrten Talusvorschub nachweisen. Dies hat jedoch den Nachteil der längeren Untersuchungsdauer gegenüber gehaltenen Röntgenaufnahmen, was vor allem bei frischen, schmerzhaften Verletzungen von Bedeutung ist (TRIEBEL und AHLERS, 1993).

Möglicherweise ergibt sich jedoch für die Zukunft hieraus eine Alternative zu Belastungsaufnahmen und Arthrographie.

6.4. Magnetresonanztomographie (MRT)

Am oberen Sprunggelenk eignet sich die MRT besonders zur Diagnostik von chondralen Verletzungen und Frakturen. Ob sich Routineindikationen für diese aufwendige und teure Untersuchungsmethode bei Bandverletzungen am oberen Sprunggelenk in der Zukunft ergeben, bleibt abzuwarten (TRIEBEL und AHLERS, 1993).

6.5. Arthroskopie

Die Arthroskopie des oberen Sprunggelenks eignet sich zur Diagnostik und Therapie von osteochondralen Verletzungen und kann der offenen Bandnaht vorangestellt werden. Intraoperativ lassen sich die Sprunggelenksbänder, wie von HINTERMANN (2003) für die Innenbänder beschrieben, auch beurteilen. In der Primärdiagnostik spielt die Arthroskopie jedoch keine Rolle.

6.6. Diagnostik der funktionellen Instabilität

Im Gegensatz zur Diagnostik der mechanischen Instabilität gibt es für die Untersuchung der funktionellen Instabilität am oberen Sprunggelenk noch kein Verfahren, das im klinischen Alltag eingesetzt werden kann. So ist die funktionelle Instabilität bei entsprechender Anamnese bezüglich Umknickhäufigkeit, Gangunsicherheit, Angst vor dem Umknicken, Einschränkung beim Sport und externer Stabilisation eine Verdachtsdiagnose, die nach klinischem und radiologischem Ausschluss einer mechanischen Bandinstabilität am oberen Sprunggelenk gestellt werden kann.

6.7. Hypothese

Ziel der vorliegenden experimentellen Arbeit ist es, neue Erkenntnisse über Ätiologie und Pathogenese der FUNKTIONELLEN INSTABILITÄT am oberen Sprunggelenk zu erlangen und zu einer verbesserten Therapie- und Preventionsstrategie beizutragen.

Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Nach Ausschluß einer mechanischen Instabilität beruht die vorhandene Instabilität nicht auf einem Kraftdefizit, sondern auf einer Störung der Propriozeption.
2. Diese propriozeptive Störung ist kein zentrales sondern ein peripheres Geschehen und kann als einseitige Störung des Lagesinnes und der Balance nachgewiesen werden.

Hierzu wurde nach Ausschluß einer Bandinsuffizienz und eines Kraftdefizits der Lagesinn mittels eines Winkelreproduktionstests untersucht. Desweiteren wurden weiterentwickelte stabilometrische Tests mit Hilfe des CHATTECX Balance Systems durchgeführt, welche neben statischen auch dynamische Versuchsabläufe ermöglicht.

7. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

7.1. Gruppen

7.1.1. Gruppe (einseitig instabil)

In dieser Gruppe wurden 25 subjektiv instabile Patienten (14 Frauen, 11 Männer) mit einem Durchschnittsalter von 25,1 Jahren untersucht. Der jüngste Patient war 20 Jahre, der älteste 44 Jahre. Sie alle hatten eine subjektive Bewegungs- und Belastungsunsicherheit eines Sprunggelenks und eine dadurch bedingte, zum Teil erhebliche, Einschränkung ihrer Leistungsfähigkeit im Alltag und im Sport. Die geäußerte Instabilität wurde anhand eines Scores überprüft, in dem anamnestische Angaben bezüglich Umknickhäufigkeit, Gangunsicherheit, Einschränkung im Sport sowie Angst vor dem Umknicken ausgewertet wurden.

Bei 18 Personen dieser Gruppe war das rechte Sprunggelenk betroffen, bei 7 Patienten das linke. 22 Personen waren Rechtshänder, die alle als Standbein die rechte Seite angaben. Alle Untersuchten trieben Sport, wobei außer 2 Joggern alle anderen Ballsportarten ausübten (7 Volleyball, 5 Badminton, je 3 Fußball und Tennis, je 2 Squash und Handball, 1 Basketball). Unter ihnen befanden sich 3 Bundesligaspieler (ein Fußballprofi, eine Handballspielerin und eine Badmintonspielerin). 9 dieser Personen betrieben Sport mit hohem Zeit- und Trainingsaufwand, das heißt mindestens 3x wöchentlich. 16 waren Freizeitsportler mit durchschnittlich 2x wöchentlicher sportlicher Betätigung.

14 Patienten hatten in der Vorgeschichte ein Supinationstrauma am oberen Sprunggelenk erlitten. Dies wurde bei 8 Personen konservativ (2x 6 Wochen Gipsruhigstellung, 1x 3 Wochen Gipsruhigstellung mit anschließenden Stützverbänden, 4x Tapeverbände über 3 Wochen, 1x Salbenstützverbände für 3 Wochen) und bei 6 Personen operativ mit anschließender 6wöchiger Gipsruhigstellung behandelt.

11 Personen beklagten eine subjektive Instabilität ohne wesentliches Ersttrauma. Sie berichteten über mehrere kleinere Umknickereignisse, die jeweils keine länger-dauernde Einschränkung verursachten und ohne ärztliche Behandlung blieben.

Bei einer Patientin führten diese wiederholten Umknickereignisse dazu, dass sie Ihre Ballsportart aufgab und nur noch joggte. Alle anderen blieben bezüglich ihrer Sportausübung unbeeinflusst.

Im Alltag benutzten 3 Personen eine Bandage als externe Stabilisation, 1x wurde eine Schuhaußenranderhöhung im Alltag und im Sport benutzt. Beim Sport wurden 6x Bandagen und 2x Orthesen regelmäßig getragen, 2 Personen trugen temporär nach Umknickereignissen einen Tapeverband während des Sports. Nur 3x kam es im Anschluss an die Behandlung der Verletzung zu einer Nachbehandlung. 2x wurde krankengymnastisch mit Bewegungsübungen und Muskelkräftigung nachbehandelt, eine Person führte selbstständig ein spezielles Krafttraining durch.

Bei keinem der Patienten bestand anamnestisch eine neurologische, internistische oder HNO-Grunderkrankung, die eine Beeinträchtigung der Standsicherheit oder des Gleichgewichts hätte zur Folge haben können.

7.1.2. Gruppe 2 (stabil nach Trauma)

Zum Vergleich wurden 30 subjektiv stabile Patienten (13 Frauen, 17 Männer) nach vorausgegangener Außenbandruptur untersucht. Ihr Durchschnittsalter betrug 22,1 Jahre, sie waren zwischen 15 und 40 Jahre alt. Die Verletzung lag im Mittel 4 Jahre und einen Monat zurück, der längste Zeitraum zwischen Verletzung und Untersuchung war 15 Jahre, der kürzeste 13 Monate. Sie waren in der Folgezeit des Ersttraumas nicht mehr im Alltag und im Sport eingeschränkt.

14 Patienten waren operativ versorgt und bis auf eine Patientin, die für 6 Wochen im Adimedstabil-Schuh frühfunktionell nachbehandelt wurde, für 6 Wochen postoperativ im Gips ruhiggestellt worden. Von den 16 konservativ behandelten Patienten wurden 10 mit einer Gipsruhigstellung für 6 Wochen behandelt, einer erhielt einen Gips für 4 Wochen mit anschließender 2wöchiger Tapebehandlung und bei einem weiteren Patienten wurde eine 4wöchige Gipsbehandlung durchgeführt. 2 der konservativ behandelten Patienten wurden mit Tapeverbänden über 4 Wochen frühfunktionell behandelt, eine Patientin trug für 2 Wochen Tapeverbände. Eine Patientin führte eine ihr angeratene 14tägige Tapebehandlung nur 5 Tage durch und begann danach wieder mit dem Lauftraining.

Bei 4 operierten Patienten und einer konservativ behandelten Patientin wurde eine krankengymnastische Nachbehandlung mit aktiven und passiven Bewegungsübungen sowie Muskelkräftigung durchgeführt. Die anderen Patienten blieben ohne Nachbehandlung.

Unter den 13 Frauen und 17 Männern war nur ein Linkshänder. Je 15x war das rechte und 15x das linke Sprunggelenk verletzt worden. 3 Patienten hatten ihr Standbein auf der linken Seite. Das Sprungbein war bei 19 Personen das linke Bein, bei 11 Personen das rechte.

19 Patienten betrieben Ballsportarten (je 7x Fußball und Volleyball, 4x Tennis und 1x Basketball), 3 Patienten waren Jogger, 2 fuhren regelmäßig Rad und je 1x wurde Skilaufen, Jazztanz, Squash und Leichtathletik als Sportart angegeben. 2 Personen trieben keinen Sport. Ein Patient war Stabhochspringer der deutschen Spitzenklasse, 13 Personen betrieben Sport mit hohem Zeit- und Trainingsaufwand, die restlichen 14 Personen waren Freizeitsportler. Ein Patient hatte wegen der Sprunggelenksverletzung mit dem Fußballspiel aufgehört, die anderen führten ihre Sportart nach der Verletzung unverändert aus. Von dreien wurde seither eine Bandage während des Sports getragen, 2 Sportler benutzten eine Bandage nach der Verletzung nur temporär. Ein Patient trug kurzzeitig eine Bandage im Alltag. Bei keiner Person

war eine neurologische, internistische oder HNO-Grunderkrankung bekannt, die Auswirkungen auf das Gleichgewicht oder die Standsicherheit hätte haben können.

7.1.3. Gruppe 3 (Kontrollgruppe)

Als Kontrollgruppe dienten 22 gesunde Personen (17 Frauen und 5 Männer) zwischen 21 und 29 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 24,1 Jahren.

21 Personen waren Rechtshänder, einer war Linkshänder. 19 der Rechtshänder hatten auch ihr Standbein rechts, zwei Rechtshänder und der Linkshänder hatten links ihr Standbein. 20x wurde das linke Bein als Sprungbein angegeben, 2x das rechte Bein. Alle Personen waren sportlich aktiv, wobei 8 Personen ihren Sport mit hohem Zeit- und Trainingsaufwand betrieben, während die anderen 14 Personen Freizeitsportler waren. Je 4 Personen betrieben Fußball, Volleyball und Gymnastik, 3 Personen joggten, je 2 Personen fuhren Rad oder schwammen und je eine Person gab Reiten, Squash und/oder Tennis als Sportart an.

Keine Person hatte Erkrankungen, die einen negativen Einfluss auf das Gleichgewicht und die Standsicherheit hatten.

7.2. Fragebogen

Der Fragebogen beinhaltete die Aufnahme der Personalien und eine Anamnese, die sich in einen personenbezogenen und einen sprunggelenksbezogenen Teil untergliederte.

Im personenbezogenen Teil der Anamnese wurden Angaben zu Händigkeit, Sprung- und Standbein sowie sportlicher Vorgeschichte mit Sportart, Leistungsklasse und Trainingsumfang erfragt. Im sprunggelenksbezogenen Teil wurden Angaben zur Verletzung und zu Folgebeschwerden gemacht. Berücksichtigung fanden weiterhin die Ermittlung des Verletzungsmodus und des Unfallereignisses (Sport, Freizeit, Unfall) sowie Art und Schwere des Traumas. Zudem wurden Therapieform (operativ, konservativ) und Nachbehandlung erfragt.

Besonderer Wert wurde auf die Erhebung der subjektiven Bewegungsunsicherheit gelegt. Die Probanden wurden zu folgenden Punkten detailliert befragt:

- Angst vor Umknickverletzungen, Unsicherheitsgefühl bei Alltagsbelastung und Sport, Ursache und Häufigkeit von Umknickereignissen und deren Ausprägung (häufig und schmerzfrei und/oder selten mit lang anhaltender Schmerzhaftigkeit und Funktionseinschränkung).
- Konsequenzen der Verletzung: Hatte sich das Gefühl im verletzten Gelenk verändert, war eine subjektiv verminderte Kraft in der betroffenen Extremität aufgefallen, musste das verletzte Gelenk im Alltag oder Sport extern stabilisiert werden oder musste wegen der Verletzung Sport oder Beruf sogar gewechselt werden?

Zum Ausschluss eventueller Verfälschungen der Ergebnisse wurde erfragt, ob früher andere Verletzungen der unteren Extremität aufgetreten waren, wie sie behandelt wurden und ob sie ohne Restbeschwerden ausgeheilt sind. Neurologische, internis-

tische oder HNO-Grunderkrankungen, die eine Beeinträchtigung der Standsicherheit bewirken können, wurden ebenfalls anamnestisch ausgeschlossen. Der klinische Untersuchungsbefund, der sich aus einer Untersuchung der Sprunggelenke und der unteren Extremität sowie einer neurologischen Untersuchung zusammensetzte, wurde im Fragebogen dokumentiert.

7.3. Instabilitätsscore

Um das Ausmaß der geschilderten Instabilität festzulegen und einen Vergleich zwischen den Personen zu ermöglichen, wurde ein Bewertungsmaßstab erarbeitet, der sich aus 5 Kriterien unterschiedlicher Wertigkeit zusammensetzte. Insgesamt wurden maximal 20 Punkte vergeben.

Die einzelnen Kriterien lauten:

- UMKNICKHÄUFIGKEIT

Umknickereignisse/Jahr	Anzahl der vergebenen Punkte
Keine	0 Punkte
1 – 2	2 Punkte
3 – 4	4 Punkte
5 – 12	6 Punkte
Mehr als 12	8 Punkte
Täglich	10 Punkte

- GANGUNSICHERHEIT

Nicht vorhanden	0 Punkte
Vorhanden	5 Punkte

- EXTERNE STABILISATION IM SPORT

Keine	0 Punkte
Hohe Sportschuhe, Bandage	1 Punkt
Orthese, Tape, Adimed-Schuh	2 Punkte

- EINSCHRÄNKUNG IM SPORT

Keine	0 Punkte
Gering	1 Punkt
Erheblich	2 Punkte

- ANGST VOR DEM UMKNICKEN

Nicht zutreffend	0 Punkte
Zutreffend	1 Punkt

GESAMTSUMME maximal 20 Punkte

Anhand der Auswertung des Scores wurden alle Personen, die mehr als 5 Summenpunkte aufwiesen, in die Gruppe 1 eingeteilt.

7.4. Klinische Untersuchung

Die Untersuchung des Sprunggelenks umfasste Palpation sowie Stabilitäts- und Beweglichkeitsprüfung. Durch die Palpation wurden bestehende Schwellungen und Druckschmerzhaftigkeiten im Verlauf der Bandstrukturen des Sprunggelenks überprüft.

Durch Prüfung des Talusvorschubzeichens und der fibularen Aufklappbarkeit wurde das Sprunggelenk auf Stabilität getestet. Dann wurde untersucht, ob die Beweglichkeit in Supination, Pronation, Flexion, Extension, Adduktion und Inversion eingeschränkt oder schmerzhaft war. Als aktive Beweglichkeitsprüfung wurde der mediale und der laterale Fußkantengang beurteilt, der als normal, behindert oder als nicht möglich bewertet wurde.

Zum Abschluss des orthopädischen Untersuchungsteils wurde eine Untersuchung der Bein- und Rückfußachse durchgeführt und die Umfänge der oberen Sprunggelenke und beider Unterschenkel und Oberschenkel gemessen (jeweils 15 cm unterhalb und/oder 10 und 20 cm oberhalb des Kniegelenkspalts).

Die neurologische Untersuchung umfasste den Knie-Hackenversuch, den Unterberg-Tretversuch, den Rombergtest sowie eine Sensibilitätsprüfung am Sprunggelenk.

7.5. Radiologische Untersuchung

Zur Beurteilung der mechanischen Bandstabilität wurden gehaltene a.p. Aufnahmen beider Sprunggelenke der Gruppen 1 und 2 angefertigt. Dazu wurde eine Haltevorrichtung nach SCHEUBA (1983) benutzt. Bei diesem Gerät erfolgt die Röntgenaufnahme in etwa 10° Plantarflexion des Fußes, 25° Innenrotation des Unterschenkels und unter Applikation von 15 kp Druck von medialseitig in Höhe des unteren Tibiadrittels (Varusstress). Bei allen röntgenwilligen Patienten war diese Untersuchung schmerzfrei und in entspanntem Zustand möglich, sodass auf eine anästhetische Schmerzausschaltung verzichtet werden konnte. Beurteilt wurde der Absolutwert des Talus-Kippwinkels zwischen Tibia- und Talusgelenkfläche und die Seitendifferenz dieser Winkel zwischen gesunder und traumatisierter Seite. Absolutwerte von mehr als 10° lateraler Aufklappbarkeit sowie Seitendifferenzen über 5° sprechen für eine mechanische Instabilität.

Auf Röntgenaufnahmen der Kontrollgruppe wurde wegen der subjektiven und klinischen Stabilität der Sprunggelenke verzichtet.

7.6. Lagesinn

Für diesen Untersuchungsteil wurde eine selbstgebaute Holzrahmenkonstruktion eingesetzt (Abb. 2).

In der Mitte des Gerätes befand sich eine vertikal verlaufende Drehachse mit integriertem Winkelmesser. Auf der Drehachse war ein Brett fixiert, auf dem eine verstellbare Fußhalterung befestigt war. Der Patient befand sich zur Untersuchung auf einer Liege in Rückenlage und legte den Oberschenkel des zu untersuchenden Beins in einer Liegeschale auf. Die Fußhalterung wurde der Größe des jeweils zu testenden Fußes angepasst. Nun wurde der Fuß mit Klettbinden in der Haltevorrichtung in Neutral-Nullstellung befestigt. Die Drehachse verlief durch die Ferse und den zweiten Zehenstrahl und erlaubte eine leicht eingeschränkte Pronations- und

Supinationsbewegung. Flexion und Extension des Fußes waren nicht möglich. Die Neutral-Nullstellung des Fußes entsprach einer 0° Winkeleinstellung auf dem Winkelmesser.

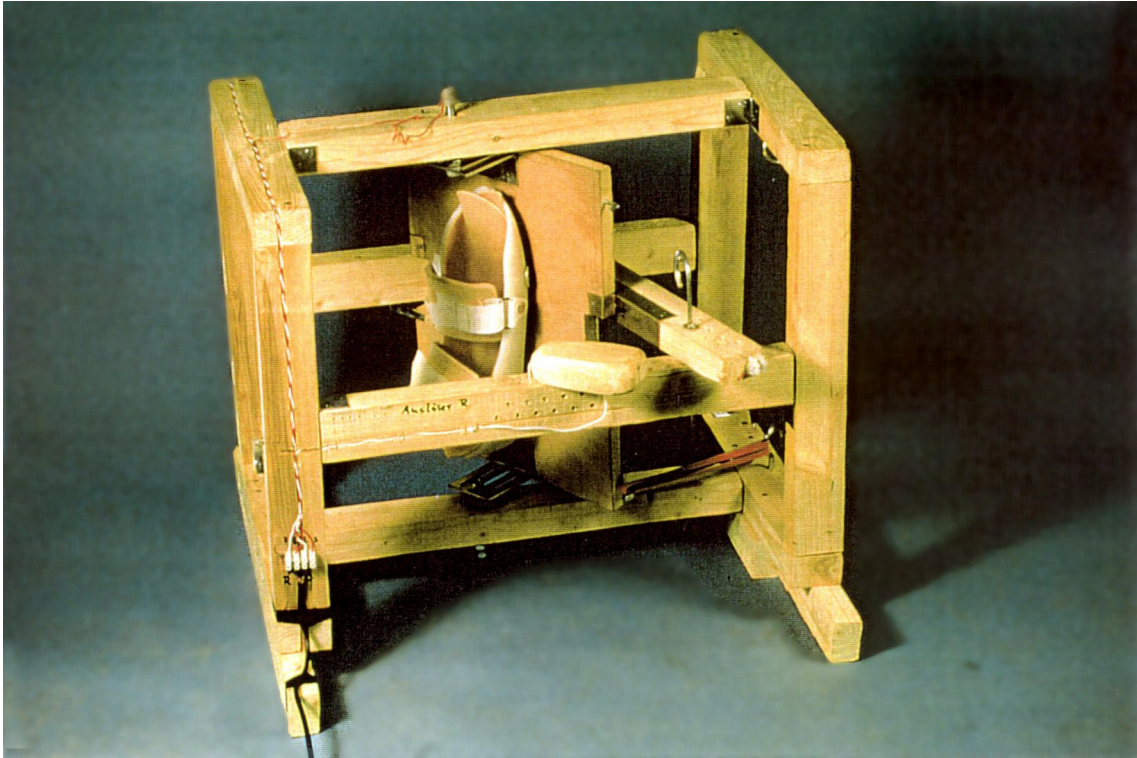


Abb. 2: Konstruktion zur Untersuchung von Lagesinn und Kraft

Von dieser Ausgangsposition aus wurde der fixierte Fuß der Versuchsperson durch den Untersuchenden in eine bestimmte Winkeleinstellung geführt und wieder in die Ausgangsstellung zurückgebracht. Die Testperson musste dann selbstständig, ohne visuelle Kontrolle den vorher eingestellten Winkel möglichst genau wiederfinden. Getestet wurden die Vorgabewinkel (in Untersuchungsreihenfolge) in 15°, 25°, 10°, 20° und 5° Supinations- sowie 5° Pronationsrichtung. An beiden Füßen wurden je 2 Untersuchungsdurchgänge absolviert. Für jede Person wurde pro Sprunggelenksseite die Einzelabweichung der sechs einzustellenden Winkel ermittelt und zu einer

Gesamtabweichung jeder Seite addiert. Dann wurden die Ergebnisse beider Untersuchungsgänge gemittelt.

Von den so erhaltenen Werten jeder Sprunggelenksseite der Personen wurde die Standardabweichung für jede Gruppe berechnet.

Weiterhin wurde für jede Seite ermittelt, wie viel Grad die Personen einer Gruppe durchschnittlich bei jeder Winkeleinstellung vom Ausgangswinkel abweichen.

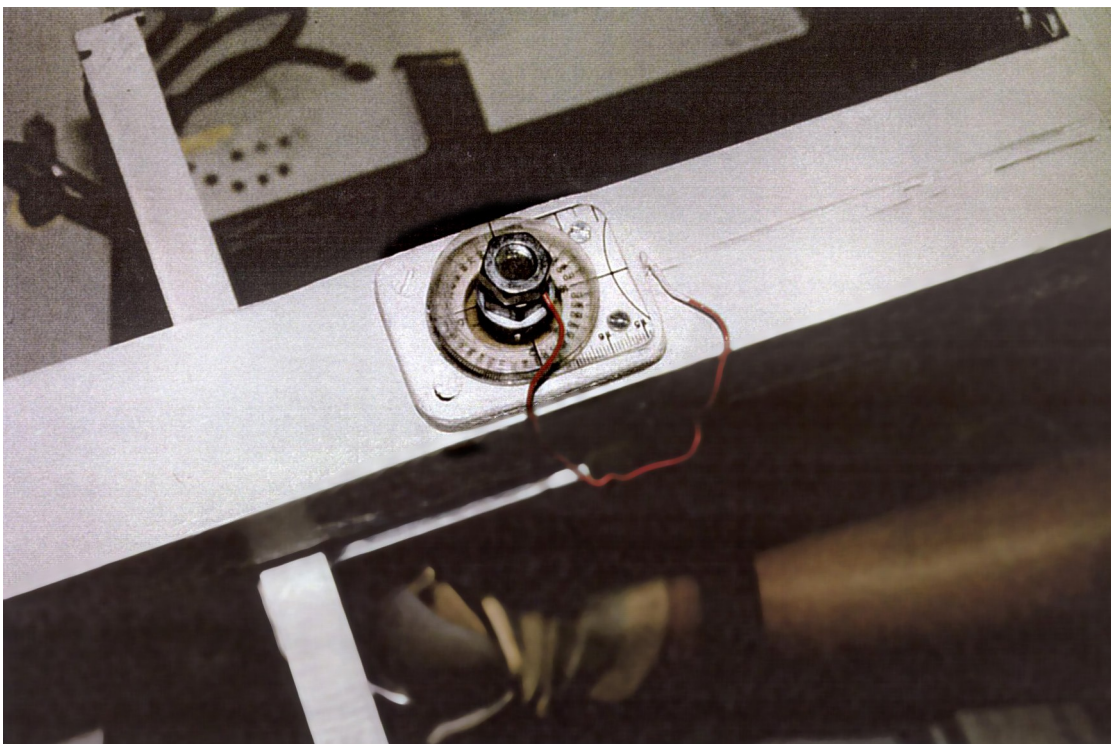


Abb. 3: Goniometeranzeige an der Oberseite der Konstruktion

7.7. Kraftmessung

Zur beidseitigen Messung der isometrischen Kraft bei Muskelanspannung in Pronations-Eversionsrichtung wurde die unter Punkt 7.6. beschriebene Konstruktion eingesetzt. Der Patient befand sich auf einer Untersuchungs-liege in Rückenlage und hatte das Bein in die Oberschenkel-Liegeschale gelegt. Der Fuß war in der Haltevorrichtung befestigt und diese mit einem Ringkraftmesser gegen den Rahmen der Konstruktion fixiert. Dadurch befand sich der Fuß in leichter Supinationsstellung. Nun wurde der Patient aufgefordert, den Fußaußenrand in Pronationsrichtung mit maximaler Kraft gegen den Widerstand des Ringkraftmessers hochzuziehen.

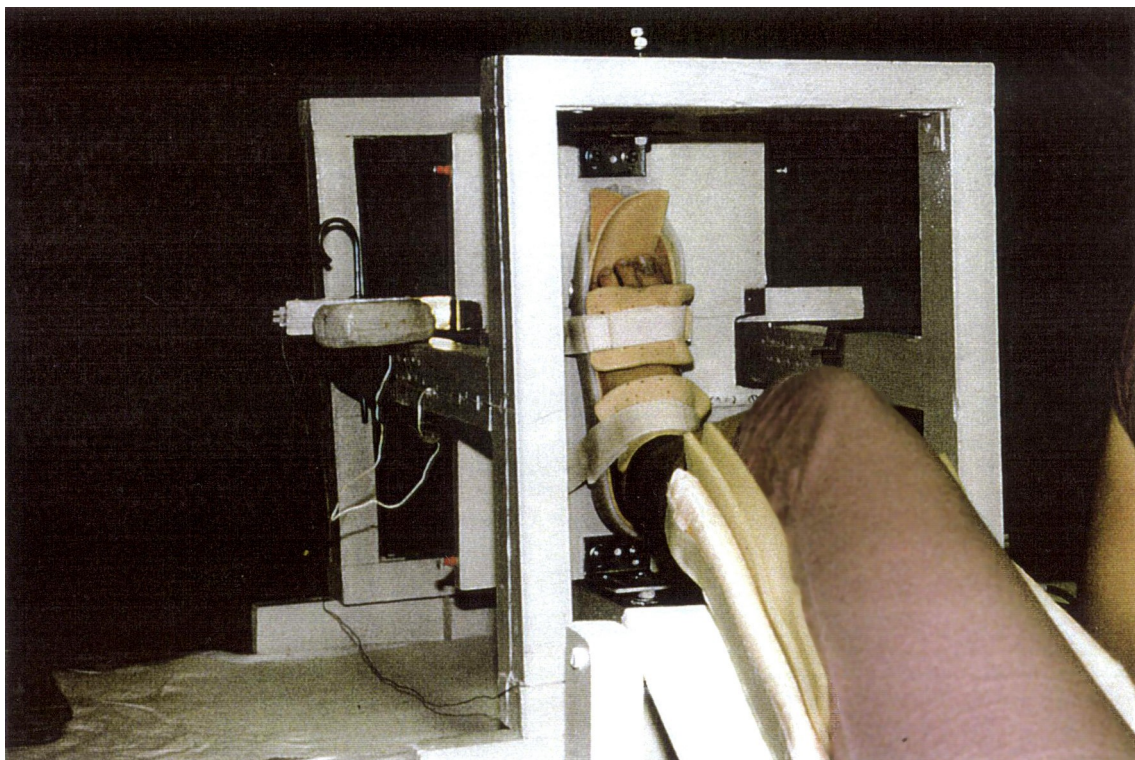


Abb. 4: Versuchsaufbau zur Kraftmessung

Dabei wurde darauf geachtet, dass die eingesetzte Kraft möglichst nur durch Anspannung der peronealen Muskelgruppe entstand und nicht durch Ausweichbewegungen in Knie und Hüfte verfälscht wurde. Die Messung wurde auf jeder Seite 3x wiederholt.

Aus den 3 Messergebnissen je Seite wurde der Mittelwert bestimmt. Da die Gruppen bezüglich der Maximalkraft nicht homogen waren (unterschiedliche Geschlechtsverteilung und Sportart), wurde auf einen Vergleich der Gruppen hinsichtlich ihrer Maximalkräfte verzichtet.

Interessant war jedoch die Beurteilung der Kraft der Einzelperson im Seitenvergleich, da eine einseitig deutlich verminderte Maximalkraft eine Instabilität dieser Seite erklären könnte. Deshalb wurde der höhere Wert der Kraft einer Seite gleich 100% gesetzt. Von diesem Wert wurde der prozentuale Anteil des Ergebnisses der schwächeren Seite errechnet und anschließend für jede Seite der Gruppen der Mittelwert aller Prozentzahlen bestimmt und miteinander verglichen.

7.8. Untersuchungen zur Standsicherheit mit dem CHATTECX Balance System

7.8.1. Beschreibung des Systems

Das CHATTECX Balance System wurde konstruiert, um Störungen des Gleichgewichts und der Körperhaltung, die altersbedingt entstanden oder durch orthopädische und/oder neurologische Erkrankungen verursacht wurden, zu identifizieren und zu dokumentieren. Aus orthopädischer Sicht ist die Möglichkeit, funktionelle Instabilitäten bei Hüft-, Knie- und Sprunggelenksbeschwerden abschätzen zu können, von besonderem Interesse. Zusätzlich bietet dieses System die Möglichkeit des Trainings erfasster Gleichgewichtsstörungen.

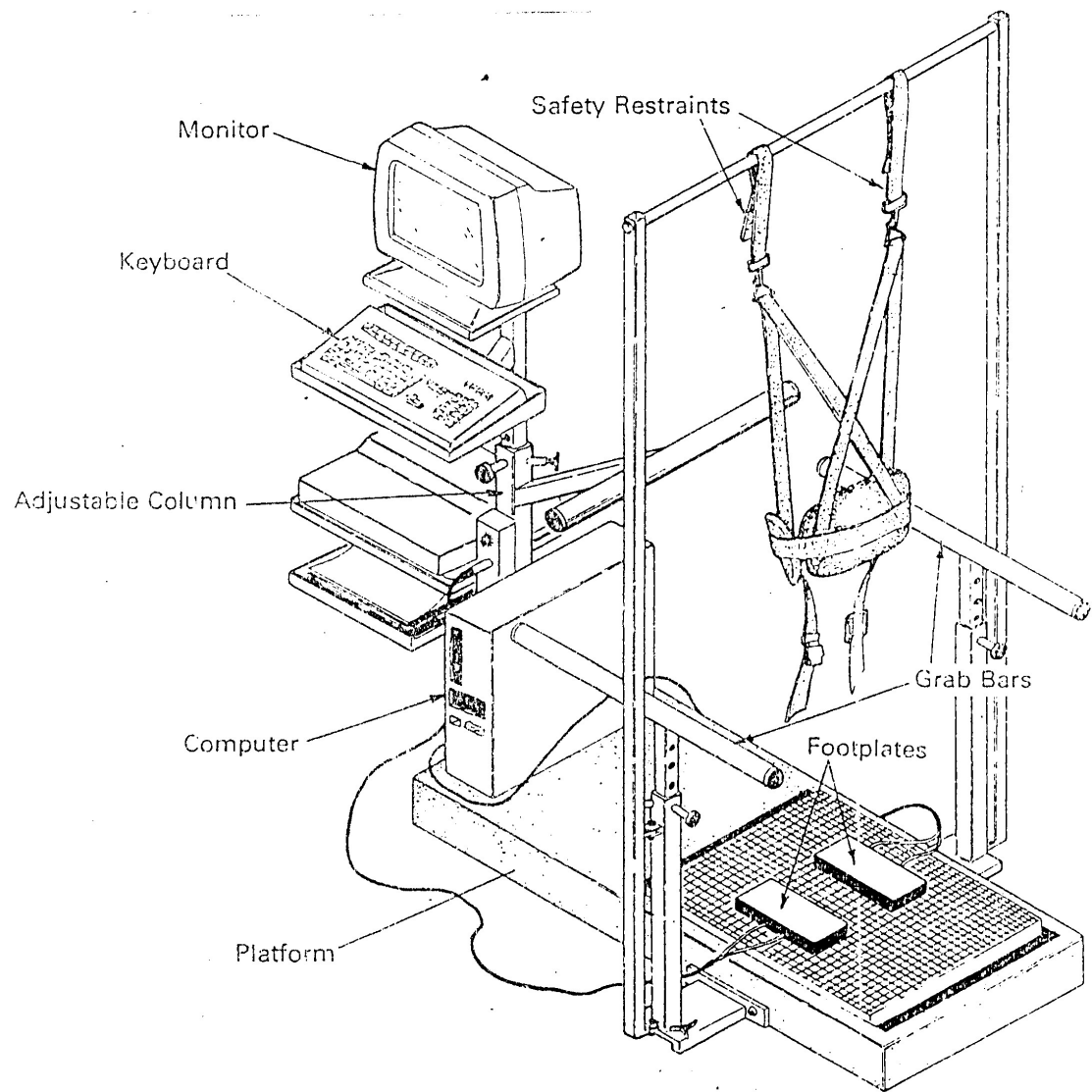


Abb. 5: Graphische Darstellung des Chattecx Balance Systems

Das System besteht aus einer Bodenplatte mit höhenverstellbarer Bedienersäule, in die das Computersystem, bestehend aus 3,5 inch Floppy Disk Drive, Software, Tastatur, Monitor und Drucker, integriert ist. Zur Sturzvermeidung befinden sich beidseitig Handläufe; für stark sturzgefährdete Personen sind Haltegurte vorhanden. In die Bodenplatte eingefügt ist eine angular und linear bewegbare Standplattform, welche die 4 Fußplatten trägt, auf denen die Patienten stehen. Jede der 4 Fußplatten ist mit einem Druckmesswandler ausgestattet und repräsentiert einen Ballen- oder einen Fersenbereich. Je ein Ballen- und ein Fersenbereich sind zu einer Messeinheit zusammengefasst. Ihr Abstand ist der Fußgröße anpassbar.

7.8.2. Arbeitsweise des Systems

Das Prinzip der Gleichgewichtstests beruht auf der Ermittlung des Gleichgewichtszentrums, den Schwankungen während des Tests um das Zentrum und den Grenzen, in denen das Gleichgewicht gehalten werden kann. Die ermittelten Ergebnisse werden innerhalb eines Koordinatensystems graphisch dargestellt. Während des Versuchs werden die Bewegungsänderungen in Form einer Verlaufslinie innerhalb des Koordinatensystems aufgezeigt. Bei Testende errechnet der Computer das Gleichgewichtszentrum (= Center of Balance), zeichnet es in das bestehende Koordinatensystem ein und gibt die errechneten Daten an.

Da das Gleichgewicht abhängig ist von visuellen und propriozeptiven Einflüssen sowie von Meldungen des Gleichgewichtsorgans, müssen statische und dynamische Tests sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Augen durchgeführt werden. Vergleichende Tests mit geschlossenen und/oder offenen Augen sollen Störungen des visuellen Systems aufzeigen. Dynamische Tests mit geschlossenen Augen (visuelle Kontrolle ausgeschaltet) überprüfen hauptsächlich die Funktion des Gleichgewichtsorgans. Statische Tests (= stark verminderte Afferenzen an das Gleichgewichtsorgan), die mit geschlossenen Augen durchgeführt werden, ermitteln die Leistungsfähigkeit des propriozeptiven Systems.

Eine typische Testserie des Balance Systems besteht aus:

- Versuch 1: auf stabiler Plattform stehend, Augen geöffnet
- Versuch 2: auf stabiler Plattform stehend, Augen geschlossen
- Versuch 3: auf bewegter Plattform stehend, Augen geöffnet
- Versuch 4: auf bewegter Plattform stehend, Augen geschlossen

Die Versuche können mit einer Testdauer von entweder 10 Sekunden oder 25 Sekunden durchgeführt werden. Dynamische Tests werden mit linear oder angular bewegter Plattform absolviert. Die angular Bewegung erfolgt in Form einer Sinuskurve mit einem Neigungswinkel von 4° aus der Horizontalen nach vorn und hinten. Ein Bewegungszyklus dauert 8,33 Sekunden. Werden die Fußplatten während eines Versuchs durch eine Person belastet, so ermittelt der Computer über die Signale der 4 Druckmesswandler die Verteilung des Körpergewichts und bestimmt die Lage des durchschnittlichen Gleichgewichtszentrums.

Über die Druckänderungen an den Messplatten werden die Gewichtsverlagerungen registriert, welche die Schwankungen nach vorn und hinten sowie in seitlicher Richtung widerspiegeln. Die Schwankungen während eines Versuchs werden in Form von Datenpunkten innerhalb eines Koordinatensystems auf dem Monitor in x- und y-Achsenrichtung aufgezeichnet und ausgewertet.

Ermittlung des Gleichgewichtszentrums:

Das Balance-System sammelt pro Sekunde 100 Datenpunkte, das heißt bei einem 25 Sekunden dauernden Versuch werden 2500 Datenpunkte ermittelt. Das Gleichgewichtszentrum (Center of Balance = COB) ist der errechnete Mittelwert der 2500 Datenpunkte in x-Achsenrichtung (COB X) und y-Achsenrichtung (COB Y).

$$\text{COB X} = \sum_{i=1}^{2500} (X_i + X_{i+1}) / 2500 \text{ für } i = 1 - 2499$$

$$\text{COB Y} = \sum_{i=1}^{2500} (Y_i + Y_{i+1}) / 2500 \text{ für } i = 1 - 2499$$

Dispersion:

Die Dispersion ist eine dimensionslose Zahl, die das Schwankungsmuster, (das heißt den Grad der Datenstreuung um das Gleichgewichtszentrum) angibt. Die Dispersion wird aus der Standardabweichung der während eines 25 Sekunden dauernden Versuchs gesammelten 2500 x und y Koordinaten errechnet. Ist die Datenstreuung groß, ist eine große Standardabweichung und eine daraus errechnete hohe Dispersion zu erwarten.

$$\text{Dispersion}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{2500} (\text{COB X} - X_i)^2 + \sum_{i=1}^{2500} (\text{COB Y} - Y_i)^2}{\text{Testzeit} \times 100}$$

X_i = augenblicklicher Messpunkt in x-Achsenrichtung

Y_i = augenblicklicher Messpunkt in y-Achsenrichtung

$$\text{Dispersion} = \sqrt{\text{Dispersion}^2}$$

Grenzen der Standsicherheit:

Als Maß der Schwankungsbreite um das Gleichgewichtszentrum dient die Angabe in Prozent der Testzeit, in der sich der Proband im 5%-, 10%-, 20%-, 40%- und 60% Sektor des Zentrums aufhält. Diese Sektoren berechnen sich anhand des jeweiligen Körpergewichts der Personen. So entspricht der 5% Sektor der Fläche um das Gleichgewichtszentrum, die mit einer Gewichtsverlagerung von 0-5% des Körpergewichts erreicht wird. Der 10% Sektor repräsentiert somit den ringförmigen Bereich um den 5% Sektor herum, in dem sich die Versuchsperson bei einer Gewichtsverlagerung von mehr als 5% bis einschließlich 10% des Körpergewichts aufhält.

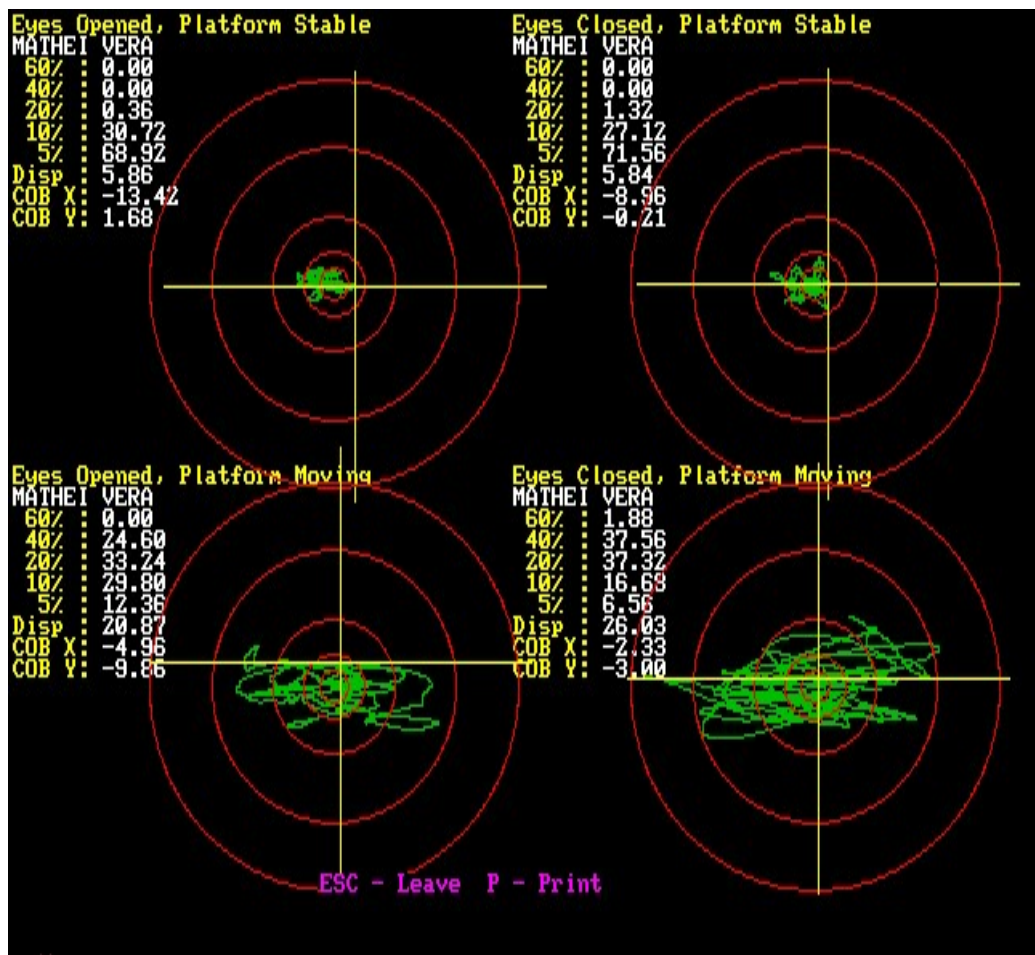


Abb. 6: Graphische Darstellung der Ergebnisse von Versuch 1 bis 4 einer Patientin im Beidbeinstand

Training:

Das Balance System bietet mehrere Möglichkeiten des Trainings. Alle Trainingsmöglichkeiten beruhen auf dem Prinzip der visuellen Kontrolle des Gleichgewichts, das heißt anhand eines auf dem Monitor sichtbaren, durch Schwerpunktverlagerung steuerbaren Cursors. Der zu Trainierende steht auf den Fußplatten mit Blick auf den Monitor. Er bekommt die Aufgabe, während einer festgelegten Zeit durch Verlagerung seines Körperschwerpunkts den Cursor auf dem Monitor so zu bewegen, dass sich dieser möglichst lange in einem vorher markierten Zielgebiet befindet. Mehrere Formen, Größen und Lagen der Zielgebiete sind möglich. Weiterhin kann, entsprechend des Untersuchungsvorgangs, zwischen unbewegter oder angular und/oder linear bewegter Plattform gewählt werden. Die Trainingszeit ist einstellbar auf 1, 3, 5, 10 Minuten oder auf unbegrenzte Zeit.

Der Computer ermittelt die Zeit, in der der Trainierende in der Lage ist, den Cursor im festgelegten Zielgebiet zu halten und berechnet daraus den prozentualen Anteil der erreichten Zeit an der Trainingszeit, das heißt den Genauigkeitsindex.

$$\text{Genauigkeitsindex (\%)} = \frac{\text{erreichte Zeit (in Sekunden) im Zielgebiet}}{\text{Trainingszeit (in 60 Sekunden)}} \times 100$$



Abb. 7: Darstellung des gewählten Trainingsaufbaus

7.8.3. Versuchsaufbau und Versuchsablauf der Tests mit dem Balancegerät

1. Durchgang:

Beidbeinstand	Versuche 1 - 4
Einbeinstand rechts	Versuche 1 - 4
Einbeinstand links	Versuche 1 - 4
Einbeinstand rechts	Test im Trainingsprogramm
Einbeinstand links	Test im Trainingsprogramm

2. Durchgang:

Nach einer Erholungspause von 5 Minuten: Wiederholung des 1. Durchgangs.

Die Fußplatten wurden für die Untersuchungen parallel zur angulären Drehachse platziert. Sie lagen sich innenseitig an und standen mittig auf der Bodenplatte. Sie wurden auf die jeweilige Fußgröße der Personen eingestellt. Bei den Tests im Beidbeinstand stellten sich die Personen mit beiden Füßen mittig auf eine Messeinheit, die aus einem Ballen- und einem Fersenteil bestand.

Bei den Einbeinstanduntersuchungen wurden die vier Fußplatten als eine Messeinheit benutzt, indem der Fuß der Personen mit seiner Hauptbelastungslinie (entsprechend der Verbindungslinie Ferse zweiter Zehenstrahl) auf der innenseitigen Berührungslinie der 4 Fußplatten stand.

Die Testperson stand bei allen Tests aufrecht mit vor der Brust verschränkten Armen. Im Einbeinstand befand sich der unbelastete Fuß in der Kniekehle des anderen Beins. Während der Versuche 1 bis 4 hatte die Testperson die Auflage, einen sich in 3 Meter Abstand befindlichen circa 10 cm großen Gegenstand anzuvi-

sieren. Eine Betrachtung seines Testverlaufs war ihm nicht möglich. Bei den Tests im Trainingsprogramm verfolgte die Testperson ihren Schwankungsverlauf auf dem Bildschirm und konnte so ihre eigenen Bewegungen kontrollieren und korrigieren. Die Versuche 1 bis 4 wurden mit 25 Sekunden Versuchsdauer durchgeführt; der Test im Trainingsprogramm dauerte je 60 Sekunden. Als Zielgebiet wurde hierfür ein Rechteck gewählt, das annähernd der Größe des 10% Sektors entsprach und das sich um den Schnittpunkt der x-Achse und y-Achse ausdehnte.

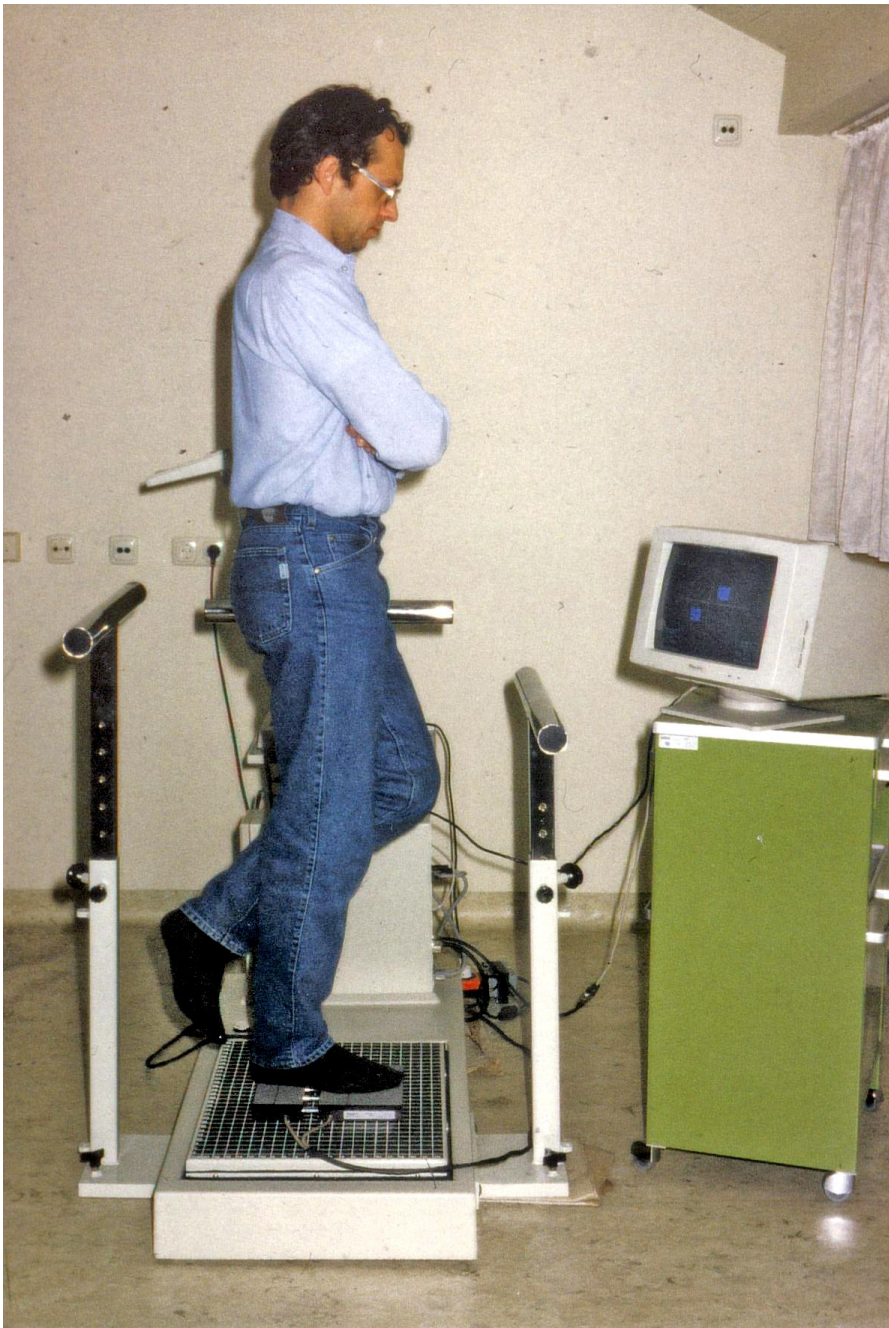


Abb. 8: Versuchsanordnung bei Standsicherheitsuntersuchungen mit dem Balance-Gerät im Einbeinstand

Für beide Durchgänge brauchte man etwa 45 Minuten, wobei die Testperson zwischen den einzelnen Versuchen einige Sekunden Pause hatte, bis der jeweilige Versuch abgespeichert war.

7.8.4. Auswertung

Während die ersten Personen untersucht wurden, stellte sich heraus, dass der Versuch 4 im Einbeinstand (auf bewegter Plattform stehend, die Augen geschlossen) in oben beschriebener Standposition zu schwierig war. Alle Versuchspersonen mussten über die gesamte Untersuchungszeit mehr oder weniger starke Ausgleichsbewegungen mit Armen und Beinen durchführen, um einen Sturz zu vermeiden, so dass dieser Versuch zwar durchgeführt wurde, jedoch später nicht in die Auswertung aufgenommen werden konnte.

Im Beidbeinstand kamen alle 4 Versuche zur Auswertung, im Einbeinstand jeweils die Versuche 1 bis 3. Bei zwei Durchgängen erhielt man pro Versuch 6 Zahlenwerte, 2x je Versuch das Ergebnis der Dispersion sowie je 2 Werte für die x- und für die y-Koordinatenabweichung.

Veränderungen in y-Richtung zeigen (sowohl im Beidbeinstand als auch im Einbeinstand) bei positiven Zahlenwerten Gewichtsverlagerungen auf den Vorfuß an, negative Werte entsprechen Gewichtsverlagerungen in Richtung Ferse.

Im Beidbeinstand entsprechen positive x-Koordinatenwerte einer Gewichtsverlagerung auf das rechte Standbein, negative Ausschläge dementsprechend einer vermehrten Belastung des linken Beins.

Im Einbeinstand repräsentieren Abweichungen in x-Achsenrichtung Mehrbelastungen des medialen Fußrandes (Pronationsbewegungen) und/oder lateralen Fußrandes (Supinationsbewegungen).

Bei Untersuchungen auf dem rechten Standbein entsprechen positive Zahlenwerte Supinationsbewegungen, im Einbeinstand links entsprechen positive Werte Pronationsbewegungen. Umgekehrt verhält es sich mit den negativen Zahlenwerten. Um die erhaltenen Zahlenwerte im Einbeinstand links mit den Ergebnissen der rechten Seite vergleichen und statistisch miteinander verrechnen zu können, wurden alle ermittelten Zahlenwerte der linken Standseite mit minus 1 multipliziert. Somit entsprechen im Einbeinstand alle nachfolgend angegebenen

- positiven x-Achsenwerte SUPINATIONSBEWEGUNGEN
- negativen x-Achsenwerte PRONATIONSBEWEGUNGEN.

Innerhalb der 3 Gruppen wurden für jeden Versuch Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Im Beidbeinstand wurden die Mittelwerte jedes Versuchs der Kontrollgruppe mit den Werten der Gruppe 1 und 2 verrechnet und die Gruppe 1 mit Gruppe 2 (interindividueller Vergleich). Für die Versuche im Einbeinstand konnten sowohl interindividuelle als auch intraindividuelle Vergleiche angestellt werden.

Die Tests im Trainingsprogramm ergaben für jede Person pro untersuchte Seite im Einbeinstand zwei Werte (Genauigkeitsindex in Prozent). Diese Werte wurden innerhalb der Gruppen (linke gegen rechte bzw. gesunde gegen kranke Seite) und zwischen den einzelnen Gruppen (siehe interindividueller Vergleich der Versuche) verrechnet.

7.9. Methodik der statistischen Auswertung

Die biomathematische Auswertung der ermittelten Ergebnisse erfolgte mit den Statistikprogrammen SPSS und Statgraph.

Zuerst wurden die Mittelwerte der Untersuchungen des Taluskippwinkels, der Kraftmessung, des Lagesinnes und der Standsicherheit mit dem PEARSON-STEPHENS-TEST auf Normalverteilung geprüft. Bei keiner der Untersuchungen konnte jedoch eine Normalverteilung festgestellt werden.

Deshalb kamen nichtparametrische Tests zur Anwendung. Als nichtparametrischer U-Test kam somit bei unverbundenen Stichproben der Rangsummentest nach WILCOXON zum Einsatz und bei den verbundenen Stichproben der Paardifferenztest. Das Signifikanzniveau betrug bei beiden Tests jeweils 5%.

8. ERGEBNISSE

8.1. Auswertung des Fragebogens

Gruppe 1

Bei geschlossenen Augen schilderten 3 Patienten ein instabileres Gefühl im betroffenen Gelenk, während für die restlichen 22 Patienten kein unterschiedliches Gefühl zu bemerken war. Zwei Patienten sagten, dass sie bei geschlossenen Augen bezüglich der Stellung der Gelenke im Raum beim verletzten Gelenk ein anderes Gefühl hatten. Keiner berichtete von einer subjektiv verminderten Kraft in der betroffenen Extremität. 13 Patienten hatten an der unteren Extremität keine weiteren Verletzungen erlitten; 12x war ein anderes Gelenk der unteren Extremität verletzt, wobei in 10 Fällen die Verletzungen so gering waren, dass danach keinerlei Restbeschwerden und/oder Einschränkungen der Motorik oder der Sensibilität bestanden. Eine Patientin berichtete über eine bei einer Kniegelenksdistorsion erlittene med. Meniskopathie des linken Knies, welche ab und zu beim Sport in der Folge zu leichten Beschwerden geführt habe. Bei einer anderen Patientin schmerzte eine frühere Fußprellung noch ab und zu beim Sport. Bei beiden war aber nicht die Extremität betroffen, an der die Instabilität des Sprunggelenks vorlag.

Gruppe 2

Eine Patientin schilderte bei geschlossenen Augen ein Unsicherheitsgefühl im verletzten Gelenk im Vergleich mit der Gegenseite. Eine weitere Patientin hatte ein anderes Gefühl der Stellung des Gelenks im Raum gegenüber der anderen Seite. Niemand hatte das subjektive Gefühl einer verminderten Kraft in der betroffenen Extremität. 4 Personen hatten eine weitere Verletzung an einer unteren Extremität. Sie war bei allen ohne Restbeschwerden und/oder ohne Einschränkung der Motorik oder Sensibilität ausgeheilt. Eine Person hatte als Kind eine Fibulafraktur auf der kontralateralen Seite des jetzt betroffenen Sprunggelenks erlitten, die konservativ

ausgeheilt war. Eine weitere Person wurde früher wegen einer Chondropatia patellae behandelt, eine wegen einer Innenbanddehnung am Kniegelenk und bei einem Patienten wurde eine arthroskopische Meniscusteilresektion medial durchgeführt.

Kontrollgruppe

Alle Personen dieser Gruppe berichteten von seitengleicher Gelenkstellung und seitengleichem Gefühl der Sicherheit in beiden Sprunggelenken. Keiner Person war eine einseitig verminderte Kraft an einer unteren Extremität aufgefallen. Eine Patientin war in der Vergangenheit wegen einer Chondropathia patellae bds. in Behandlung, hatte davon aber keine Restbeschwerden zurückbehalten.

8.2. Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Gruppe 1

Bei der klinischen Untersuchung hatten 15 Patienten eine gerade Beinachse, 6x fielen leichte Genua vara und 4x Genua valga auf. Die Rückfußachse war bei 23 Patienten gerade und bei 2 Patienten lag ein angedeuteter Pes varus vor. Der Fußkantengang medial und lateral war bei allen normal möglich. Bei der Stabilitätsprüfung fiel 9x ein leicht instabiles oberes Sprunggelenk auf. 5x hatten Patienten ein deutlich instabiles Gelenk der betroffenen Seite, wobei die gesunde Sprunggelenksseite bei 4 dieser Personen ebenfalls eine klinische Instabilität zeigte. Bei der Beweglichkeitsprüfung fiel je 2x ein Extensions- und Flexionsdefizit auf, jedoch immer weniger als 5°. Bei 3 Patienten zeigte sich ein leichtes Supinationsdefizit unter 5°, ein Pronationsdefizit lag bei keinem Patienten vor. 10x lag eine Umfangdifferenz des Unterschenkels von 0,5 cm an einer Extremität vor, 2x betrug die Differenz 1 cm. 6x wurde eine Umfangdifferenz des Knöchels von 0,5 cm gemessen, bei 4 operativ versorgten Patienten war eine Differenz von 1 cm messbar. Bei der Grobkraftmessung waren alle Patienten seitengleich kräftig.

Bei keinem Patienten war der Rombergtest, der Unterberg-Tretversuch oder der Knie-Hackenversuch pathologisch. Bei 4 operativ versorgten Patienten fiel eine Hypästhesie im Bereich der Narbe am Sprunggelenk auf.

Gruppe 2

Bei der Inspektion hatten 16 Patienten eine gerade Beinachse, 11 leichte Genua vara und 3 leichte Genua valga. Die Rückfußachse war außer bei einem Patienten mit Pes varus bds. gerade. Der Fußkantengang war bei einem operierten Patienten medial und lateral leicht behindert, ohne Beweglichkeitseinschränkung am Sprunggelenk. Bei den übrigen Patienten war der Fußkantengang unauffällig. Bei der klinischen Stabilitätsprüfung fiel 4x ein geringfügig instabiles und 2x ein deutlich instabiles oberes Sprunggelenk auf. Die Beweglichkeitsprüfung ergab je 2x ein Extensions- und ein Supinationsdefizit von weniger als 5° , 3x ein Pronationsdefizit kleiner 5° und 1x eine Flexionseinschränkung von weniger als 10° . Eine Differenz des Unterschenkelumfangs zeigte sich insgesamt 14x (8x von 0,5 cm, 5x von 1,0 cm, und 1x von 1,5 cm). 9x betrug die Umfangdifferenz des Knöchels 0,5 cm und bei 4 operierten Patienten 1,0 cm. Bei keinem Patienten konnte eine Seitendifferenz bei der Grobkraftmessung festgestellt werden.

Weiterhin war bei allen der Rombergtest, der Unterberg-Tretversuch und der Knie-Hackenversuch unauffällig. 11 der 14 operativ versorgten Patienten hatten eine Hypästhesie vor oder unterhalb der Narbe.

Kontrollgruppe

In der Kontrollgruppe hatten 11 Personen eine gerade Beinachse, 10 Personen leichte Genua vara und 1 Person Genua valga. Die Rückfußachse war bei 20 Leuten gerade, 2 hatten einen Pes varus. Eine Probandin hatte klinisch beidseits leicht instabile Sprunggelenke, bei den restlichen Personen waren sie seitengleich stabil. Niemand hatte ein Defizit in der Sprunggelenksbeweglichkeit. Bei der Umfangsmessung hatten 5 Personen eine Differenz am Unterschenkel von bis zu 0,5 cm, je 1x wurde eine Knöcheldifferenz von 0,5 cm bzw. 1,0 cm gemessen. Die Grobkraftmessung im Seitenvergleich ergab bei keiner Person eine Seitendifferenz.

Bei allen verlief der Rombergtest, der Unterberg- Tretversuch und der Kniehackenversuch unauffällig. Sensibilitätsstörungen lagen nicht vor.

8.3. Ergebnisse der Score-Auswertung

Gruppe 1

Diese Gruppe lag mit durchschnittlich $9,24 \pm 0,7$ Summenpunkten deutlich höher als die beiden anderen. Das höchste Einzelergebnis mit 17 von max. 20 Summenpunkten wurde 2x erzielt. 4 Personen bildeten mit je 6 Summenpunkten die untere Grenze der Gruppe.

Alle Personen berichteten von mindestens 4 Umknickereignissen pro Jahr, eine Person knickte täglich um. Die überwiegende Zahl der Patienten gab mehrere Umknickereignisse im Monat an. 17 Kandidaten hatten Angst vor dem Umknicken, 5 waren gangunsicher; 10 Patienten benutzten externe Stabilisatoren (5 von ihnen Tape und/oder Orthese) und 14 fühlten sich im Sport eingeschränkt.

Gruppe 2

Die Personen dieser Gruppe erreichten durchschnittlich $1,60 \pm 0,3$ Summenpunkte. 11 davon hatten 0 Summenpunkte, 2 Kandidaten kamen mit 5 Summenpunkten an die Grenze zur Gruppe 1. Die Umknickhäufigkeit schwankte zwischen keinem Umknickereignis pro Jahr (18 Personen) und 4x im Jahr (3 Personen). Die restlichen 9 kamen auf 1-2 Umknickereignisse jährlich. Eine Gangunsicherheit verneinten alle, 8 berichteten von Angst vor dem Umknicken, 6 benutzten eine Stabilisation des Sprunggelenks und 3 Kandidaten fühlten sich nach ihrem ausgeheilten Trauma nur noch leicht im Sport eingeschränkt.

Kontrollgruppe

Die Probanden der Kontrollgruppe erzielten im Durchschnitt beider Sprunggelenksseiten $0,73 \pm 0,2$ Summenpunkte. 14 von ihnen kamen auf 0 Summenpunkte, 1 Punkt wurde von einem Probanden erreicht, 6 Kandidaten hatten 2 Summenpunkte und ein Proband erzielte mit 3 Punkten das höchste Einzelergebnis.

Kein Kandidat gab somit eine Gangunsicherheit und/oder Einschränkung im Sport an, die Frage nach Angst vor dem Umknicken wurde wie die Angabe der Benutzung externer Stabilisatoren von je 1 Probanden mit ja beantwortet. 7 Kandidaten gaben an, 1-2x pro Jahr umzuknicken (2 Punkte).

Scorewerte (Angabe des arithmetischen Mittels-SEM)

Gruppe	3	2	1
Seite	links + rechts	Traumaseite	instabile Seite
Umknickfrequenz	0,63	1,00	6,36
Gangunsicherheit	0,00 ± 0,0	0,00 ± 0,0	1,00 ± 0,4
Einschränkung im Sport	0,00 ± 0,0	0,13 ± 0,1	0,48 ± 0,1
Externe Stabilisierung	0,05 ± 0,1	0,20 ± 0,1	0,63 ± 0,2
Angst vor dem Umknicken	0,05 ± 0,1	0,27 ± 0,1	0,68 ± 0,1
Höchste Summenpunktzahl einer Person	3	5	17
Niedrigste Summenpunktzahl einer Person	0	0	6
Gesamtdurchschnitt	0,73 ± 0,2	1,60 ± 0,3	9,24 ± 0,7

Tabelle 1: Vergleich der Gruppen bezüglich der erzielten Einzel- und Summenpunktzahlen im Instabilitätsscore.

Vergleicht man die Scorewerte der Gruppen 1 und 2 untereinander (ANOVA on Ranks-Dunn's Method; Kontrollgruppe sind die gesunden Patienten) so ergibt sich für die Gruppe 1 ein signifikant erhöhter Score für folgende Parameter: Einschränkung im Sport, externe Stabilisation, Angst vor dem Umknicken und dem Gesamtdurchschnitt.

8.4. Ergebnisse der Röntgenuntersuchung

Gruppe 1

Innerhalb der Gruppe 1 konnten von 22 der 25 untersuchten Personen gehaltene Aufnahmen gemacht werden. Eine Patientin wurde wegen einer möglichen Schwangerschaft nicht geröntgt, die beiden anderen Personen lehnten eine Röntgenuntersuchung ab, da bei ihnen wegen ihrer Sprunggelenksinstabilität früher schon gehaltene Aufnahmen angefertigt wurden und in beiden Fällen keine seitendifferente Aufklappbarkeit festgestellt worden war.

Die durchschnittliche Aufklappbarkeit betrug auf der instabilen Sprunggelenksseite $5,0^\circ$ (0° - 10°), auf der gesunden Seite $2,7^\circ$ (0° - 7°) und die Seitendifferenz zwischen gesunder und instabiler Seite war $2,3^\circ$ Grad. Insgesamt war auf der gesunden Seite 4x die Aufklappbarkeit größer als auf der instabilen (maximal um 2°), 4x wurden seitengleiche Ergebnisse gemessen.

Gruppe 2

Bei der Gruppe 2 wurden von 22 der 30 Personen gehaltene Aufnahmen gemacht. Die restlichen 8 Personen wollten nicht geröntgt werden, da sie seit der damaligen Behandlung ihrer Sprunggelenksverletzung völlig beschwerdefrei sind. Die mittlere Aufklappbarkeit lag auf der ehemals verletzten Seite bei $4,3^\circ$ (0° - 7°), auf der gesunden Seite $3,2^\circ$ (0° - 6°). Die durchschnittliche Seitendifferenz betrug $1,1^\circ$. 6x wurden seitengleiche Ergebnisse erzielt, 5x waren die Werte auf der gesunden Seite höher als auf der verletzten Seite.

Aufklappbarkeit	Gruppe 1 Gesunde - instabile Seite	Gruppe 2 Gesunde - verletzte Seite
durchschnittlich	2,7° - 5,0°	3,2° - 4,3°
maximal	7,0° - 10,0°	6,0° - 8,0°
minimal	0° - 0°	0° - 0°
Seitendifferenz	2,3°	1,1°
größte Seitendifferenz	7°	7°
kleinste Seitendifferenz	0°	0°

Tabelle 2: Vergleich der Ergebnisse der gehaltenen Röntgen-Aufnahmen (Winkelgrade der Taluskippung).

8.5. Ergebnisse der Untersuchung des Lagesinns

Alle drei Gruppen zeigten eine zunehmende Abweichung vom einzustellenden Winkel, je größer der einzustellende Winkel wurde.

Winkel		-5°	5°	10°	15°	20°	25°
Kontrollgruppe	Rechts	0,9	0,6	0,7	1,7	2,1	2,2
	Links	0,7	0,8	0,7	1,5	1,6	2,3
Gruppe 2	Gesund	1,2	1,2	1,2	1,4	1,9	2,1
	Krank	1,2	1,0	1,7	2,0	2,0	2,5
Gruppe 1	Gesund	1,6	1,2	1,2	1,2	1,6	2,4
	Instabil	1,2	1,4	2,0	2,3	2,1	2,6

Tabelle 3: Vergleich der durchschnittlichen Abweichung (in Winkelgrad) jedes einzustellenden Einzelwinkels.

Die Kontrollgruppe zeigte fast seitengleiche Winkelabweichungen. Die Gruppe 2 hatte auf der behandelten Sprunggelenksseite leicht höhere Abweichungen bei großen Winkeln als auf der gesunden Seite. Diese gesunde Seite zeigte ähnlich gute Ergebnisse wie die Kontrollgruppe. Bei der Gruppe 1 waren die Abweichungen auf der instabilen Sprunggelenksseite schlechter als auf der eigenen gesunden Sprunggelenksseite. Diese Unterschiede waren für die Winkel 10° und 15° signifikant.

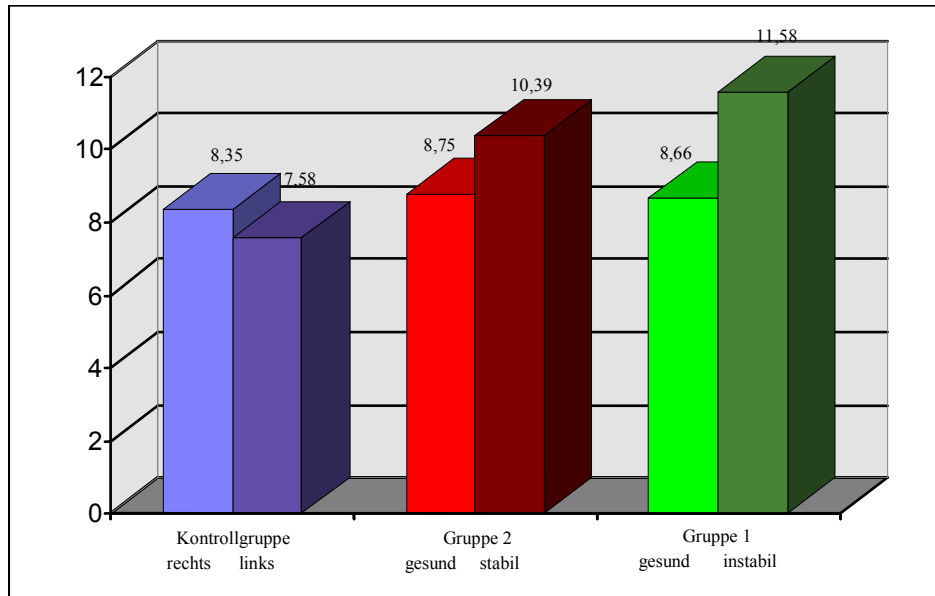


Abb. 9: Graphischer Vergleich der Gruppen bezüglich ihrer Summe der Abweichungen von den einzustellenden Einzelwinkeln.

	Gruppe 3 links-rechts	Gruppe 2 gesund-krank	Gruppe 1 gesund-instabil
Signifikanz (p=)	0,49	0,022	0,002

Tabelle 4: Intraindividueller Vergleich der beiden Sprunggelenksseiten je Gruppe bezüglich der errechneten Signifikanz (p=) beim Vergleich der Summenabweichung im Lagesinn.

8.6. Ergebnisse der Kraftmessung

Gruppe 1

Bei der Gruppe 1 wurde 13x auf der instabilen Sprunggelenksseite und 12x auf der gesunden Seite das höhere Ergebnis der Maximalkraft erzielt. Insgesamt war das Ergebnis am instabilen Sprunggelenk 90,25%, am stabilen Sprunggelenk 88,71%.

Gruppe 2

Das Gruppe 2 erreichte auf der unverletzten Sprunggelenksseite 92,57% gegenüber 87,23% auf der ehemals verletzten Seite.

Gruppe 3

Die Kontrollgruppe erzielte mit 89,8% der Maximalkraft auf der rechten Sprunggelenksseite ein besseres Ergebnis als links mit 80,74%. Fast alle Personen dieser Gruppe waren Rechtshänder, die links ihr Sprungbein hatten.

Erzielte Kraft in %	Gruppe 3 Rechts - links	Gruppe 2 Gesund - Verletzt	Gruppe 1 Gesund - Instabil
Durchschnitt	89,80 % - 80,74 %	92,57 % - 87,23 %	88,71 % - 90,25 %
Maximalwert	100 % - 100 %	100 % - 100 %	100 % - 100 %
Minimalwert	37,80 % - 51,70 %	56,50 % - 47,06 %	51,02 % - 52,38 %

Tabelle 5: Intraindividueller Vergleich der erzielten Werte der Kraftmessung (in %). Der größere Wert einer Seite wurde gleich 100% gesetzt. Von der schwächeren Seite wurde der prozentuale Anteil vom größeren Wert bestimmt.

8.7. CHATTECX Balance System

8.7.1. Dispersion

8.7.1.1. Beidbeinstand

Gruppe 1

Die Dispersion nahm von Versuch 1 zu Versuch 4 kontinuierlich zu. Die größte Standsicherheit zeigte sich bei Versuch 1 (offene Augen und stabile Standplattform) mit einer Dispersion von 8,97. Bei geschlossenen Augen und ruhender Plattform (Versuch 2) wurde die Standsicherheit schlechter (Dispersion 10,98). Eine weitere Verschlechterung der Standsicherheit ergab sich bei Versuch 3 (offene Augen und angular bewegte Plattform) mit einer Dispersion von 18,26. Wurden bei bewegter Plattform noch die Augen geschlossen (Versuch 4), so nahm die Standunsicherheit weiter zu (Dispersion 29,4).

Gruppe 2

Auch diese Gruppe zeigte eine Zunahme der Dispersion von Versuch 1 bis Versuch 4. Versuch 1 wurde mit einer Dispersion von 8,31 absolviert, Versuch 2 mit einer Dispersion von 11,22. In Versuch 3 lag die Dispersion bei 19,98 und in Versuch 4 bei 31,12. Im Vergleich zur Gruppe 1 ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Kontrollgruppe

In dieser Gruppe stieg die Dispersion ebenfalls von Versuch 1 (Dispersion 7,7) bis Versuch 4 (Dispersion 28,71). Versuch 2 wurde mit einer Dispersion von 9,09 absolviert, Versuch 3 mit 17,26. Gegenüber den beiden anderen Gruppen wurden mithin alle Versuche mit niedrigerer Dispersion bewältigt. Gruppe 1 hatte in den Versuchen

1 und 2, also bei unbewegter Plattform, signifikant schlechtere Werte. Gruppe 2 war in den Versuchen 2 bis 4 schlechter.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Kontrollgruppe	7,7	9,09	17,26	28,71
Gruppe 2	8,31	11,22	19,98	31,12
Gruppe 1	8,97	10,98	18,26	29,4

Tabelle 6: Vergleich der erzielten Dispersionen in Versuch 1 bis 4 der Gruppen im Beidbeinstand.

8.7.1.2. Einbeinstand

Gruppe 1

Gruppe 1 fiel sowohl auf der instabilen als auch auf der gesunden Sprunggelenksseite Versuch 1 (offene Augen, stabile Plattform) am leichtesten (niedrigste Dispersion), gefolgt von Versuch 3 und Versuch 2 (höchste Dispersion).

Bei Betrachtung der Absolutwerte zeigten sich gegenüber der Gruppe 2 und 3 keine signifikanten Unterschiede bei den Versuchen, die mit offenen Augen durchgeführt wurden (Versuch 1 und 3). Dies gilt sowohl für die gesunde Seite der Gruppe 1 als auch für deren instabile Sprunggelenksseite. Bei Versuch 2 (Augen geschlossen, stabile Plattform) zeigte sich im intraindividuellen Vergleich ein hoch signifikanter Unterschied der Dispersion. Der Unterschied war ebenfalls hoch signifikant gegenüber beiden Sprunggelenksseiten der Kontrollgruppe und signifikant gegenüber der Traumaseite der Gruppe 2.

Gruppe 2

Versuch 1 zeigte auf beiden Sprunggelenksseiten die niedrigste Dispersion, ebenfalls gefolgt von Versuch 3 und dem Versuch 2 mit der höchsten Dispersion. Alle 3 Versuche wurden auf der ehemals verletzten Sprunggelenksseite mit nur geringfügig höherer Dispersion absolviert als auf der gesunden Seite.

Kontrollgruppe

Von der Kontrollgruppe wurde Versuch 1 auf der linken und rechten Sprunggelenksseite mit der niedrigsten Dispersion bewältigt. Versuch 3 lag beidseits etwas höher in der Dispersion und Versuch 2 erbrachte erneut die höchste Dispersion. Rechte und linke Seite zeigten bei den einzelnen Versuchen fast identische Werte.

Gruppe		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Kontrollgruppe	rechts	20,50	33,51	27,28
	links	20,27	34,75	27,76
Gruppe 2	gesund	20,78	33,90	27,99
	verletzt	21,26	35,84	28,72
Gruppe 1	gesund	20,97	32,16	27,15
	instabil	20,94	38,76	27,75

Tabelle 7: Intra- und interindividueller Vergleich der Dispersionen.

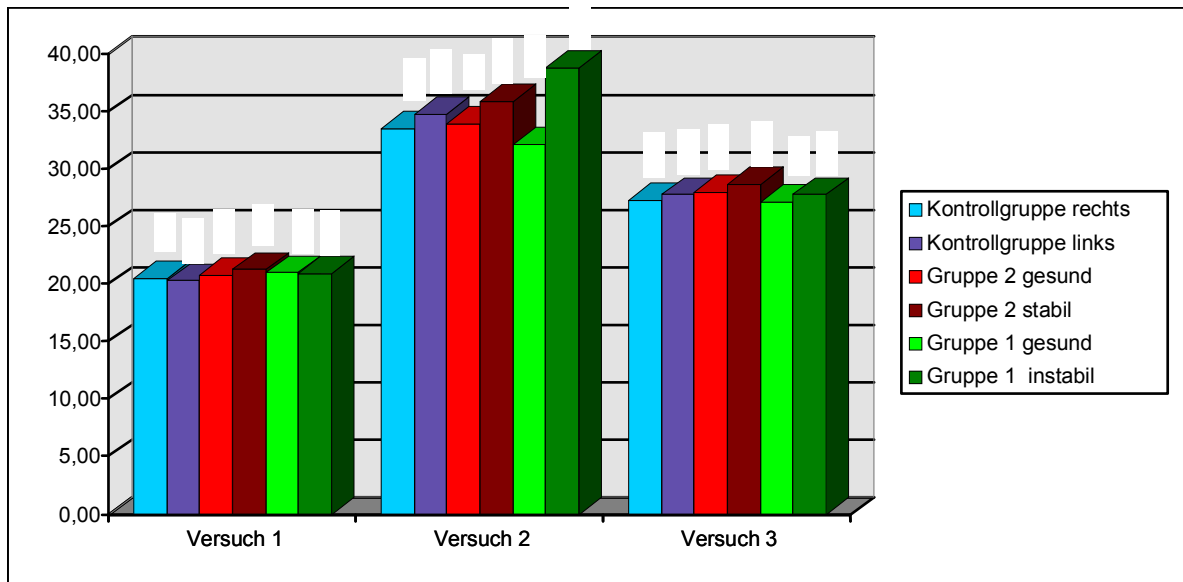


Abb. 10: Graphischer Vergleich der erzielten Dispersionen in Versuch 1 bis 3 im Einbeinstand.

Gruppe	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Gruppe 3 links/rechts	0,71	0,24	0,54
Gruppe2 gesund /stabil	0,72	0,11	0,47
Gruppe 1 gesund / instabil	0,66	$2,4 \cdot 10^{-7}$	0,56

Tabelle 8: Intraindividueller Vergleich der Gruppen bezüglich des errechneten Signifikanzniveaus beim Vergleich der Dispersion in den Versuchen 1 bis 3 im Einbeinstand.

Gruppe	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Kontrollgruppe / Gruppe 1 (instabile Seite)	p=0,77	p=2,3*10 ⁻⁴	p=0,99
Gruppe 2 / Gruppe 1 (jeweils Traumaseite)	p=0,62	p=0,03	p=0,39
Kontrollgruppe / Gruppe 2 (stabile Seite)	p=0,34	p=0,055	p=0,24
Kontrollgruppe / Gruppe 1 (gesunde Seite)	p=0,52	p=0,23	p=0,72
Gruppe 2 / Gruppe 1 (gesunde Seiten)	p=0,38	0,138	p=0,48
Kontrollgruppe / Gruppe 2 (gesunde Seite)	p=0,8	0,7	p=0,65

Tabelle 9: Interindividueller Vergleich der Gruppen bezüglich der errechneten Signifikanzen beim Vergleich der erzielten Dispersionen in den Versuchen 1 bis 3 im Einbeistand.

8.7.2 Lastverteilung

8.7.2.1. Beidbeinstand

Gruppe 1

Abweichend von Gruppe 2 und 3 führte sie Versuch 1 mit einer leichten Verlagerung des Körperschwerpunkts Richtung Ferse durch ($y = -4,36$). Bei Versuch 2 ($y = 0,27$) befanden sich die Personen schon leicht auf dem Vorfuß und verlagerten den Schwerpunkt bei Versuch 3 ($y = 0,38$) und Versuch 4 ($y = 10,09$) noch weiter nach vorne. Sie blieben aber bei allen Versuchen hinter den beiden anderen Gruppen zurück, mit signifikantem Unterschied zur Kontrollgruppe in allen vier Versuchen und signifikantem Unterschied zur Gruppe 2 in Versuch 4.

Bei den Versuchen 1 und 2 mit stabiler Plattform belastete diese Gruppe etwas stärker den rechten Fuß, bei bewegter Plattform (Versuch 3 und 4) den linken Fuß.

Gruppe 2

Versuch 1 ($y = 1,12$) wurde von dieser Gruppe auf dem Vorfuß stehend absolviert. Bei den Versuchen 2 ($y = 5,57$), 3 ($y = 6,92$) und 4 ($y = 16,92$) wanderte der Körperschwerpunkt ebenfalls immer weiter nach vorne. Verglichen mit der Kontrollgruppe befand sich der Körperschwerpunkt der Gruppe 2 jedoch in jedem einzelnen Versuch etwas weniger weit vorne, in Versuch 3 war der Unterschied signifikant.

Von dieser Gruppe wurde während der Versuche 1 bis 4 geringfügig der linke Fuß mehr belastet.

Kontrollgruppe

Bei Versuch 1 (Augen auf, Plattform stabil) befand sich der Körperschwerpunkt der Personen leicht auf dem Vorfuß ($y = 4,91$). Bei den weiteren Versuchen 2 ($y = 7,45$), 3 ($y = 13,99$) und 4 ($y = 18,76$) wanderte der Körperschwerpunkt zunehmend vorfußwärts, entsprechend der vorher beschriebenen Zunahme der Dispersion von Versuch 1 zu Versuch 4 .

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Kontrollgruppe	4,91	7,45	13,99	18,76
Gruppe 2	1,12	5,56	6,92	16,92
Gruppe 1	-4,36	0,27	0,38	10,09

Tabelle 10: Vergleich der Gewichtsverlagerung der Gruppen in den Versuchen 1 bis 4 im Beidbeinstand in Vorfuß-/Rückfuß Richtung. Während aller 4 Versuche wurde von dieser Gruppe immer mehr der linke Fuß belastet, wobei diese Gruppe fast ausschließlich aus Rechtshändern bestand, die das linke Bein als Sprung- und Standbein angaben.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Kontrollgruppe	-2,09	-1,36	-2,90	-2,91
Gruppe 2	-0,04	-0,26	-1,37	-1,31
Gruppe 1	1,63	2,64	-2,05	-0,46

Tabelle 11: Vergleich der Gewichtsverlagerung Richtung linkem Fuß (negative Werte) und rechtem Fuß (positive Werte) der Versuche im Beidbeinstand (x-Werte).

8.7.2.2. Einbeinstand

Gruppe 1

Auf der gesunden Sprunggelenksseite dieser Gruppe wurden alle 3 Versuche weit auf dem Vorfuß stehend absolviert. Bei Versuch 2 wurde der Körperschwerpunkt am weitesten nach vorne verlagert, im Versuch 3 am wenigsten weit nach vorn.

Bei Versuch 1 auf der instabilen Sprunggelenksseite befand sich der Körperschwerpunkt der Kontrollgruppe vergleichbar weit vorfußwärts. Bei Versuch 2 und 3 belasteten die Versuchspersonen den instabilen Fuß stark abweichend von der Kontrollgruppe. Versuch 3 wurde nur noch minimal auf dem Vorfuß stehend absolviert. Bei Versuch 2, der in allen Gruppen die höchste Dispersion (und damit die größte Standunsicherheit) aufwies, wurde der Körperschwerpunkt auf die Ferse verlagert.

Diese abweichende Schwerpunktverlagerung führte in Versuch 2 dazu, dass die Gruppe 1 in dieser Versuchskonstellation mit geschlossenen Augen und stabiler Standfläche eine signifikant schlechtere Dispersion als die anderen Gruppen erzielte.

Alle Versuche, sowohl auf der gesunden als auch auf der instabilen Seite, wurden analog den beiden anderen Gruppen in Supinationsstellung des Fußes durchgeführt.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
gesunde Seite	Y = 29,4	Y = 32,16	Y = 24,39
instabile Seite	Y = 25,91	Y = -4,36	Y = 0,27
gesunde Seite	X = 9,8	X = 8,71	X = 9,62
instabile Seite	X = 11,68	X = 6,83	X = 10,93

Tabelle 12: Intraindividueller Vergleich der gesunden und instabilen Sprunggelenksseite im Einbeinstand bei Gruppe 1

Gruppe 2

Diese Gruppe zeigte auf der gesunden Sprunggelenksseite bezüglich der Vor-/Rückfußbelastung ein von der Kontrollgruppe abweichendes Verhalten, bei insgesamt vergleichbaren Werten. Bei Versuch 3 wurde der Vorfuß weniger stark belastet als beim 1. Versuch. Versuch 2 zeigte jedoch auch in Gruppe 2 die stärkste Vorfußbelastung.

Auf der ehemals traumatisierten Sprunggelenksseite wurde der Versuch 1 (der Kontrollgruppe vergleichbar) vorfußwärts stehend durchgeführt. Im Versuch 3 verlagerte sich der Körperschwerpunkt aber signifikant weniger weit vorfußwärts. Bei Versuch 2 (Augen geschlossen, Standfläche stabil), der bei der Standsicherheitsuntersuchung die höchste Dispersion zeigte, wurde der Vorfuß nur noch geringfügig belastet (signifikanter Unterschied). Dies hatte bei der Gruppe 2 jedoch keinen großen Einfluss auf die Standsicherheit.

Die Versuchspersonen der Gruppe 2 belasteten beide Füße während aller Versuche leicht in Supinationsstellung.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
gesunde Seite	Y = 30,91	Y = 34,04	Y = 23,84
stabile Seite	Y = 24,45	Y = 1,12	Y = 5,57
gesunde Seite	X = 8,75	X = 6,92	X = 10,70
stabile Seite	X = 11,68	X = 6,83	X = 8,96

Tabelle 13: Intraindividueller Vergleich der Gewichtsverlagerung im Einbeinstand bei der Gruppe 2.

Kontrollgruppe

Die Gewichtsverlagerung von Versuch 1 bis 3 war auf beiden Sprunggelenksseiten gleich. Die Testpersonen absolvierten Versuch 1 (Augen offen, Plattform stabil) deutlich auf dem Vorfuß stehend und verlagerten ihren Körperschwerpunkt bei Versuch 3 (Augen auf, Standfläche bewegt) noch weiter nach vorne. Bei Versuch 2 (Augen zu, Standfläche stabil), der bei der Standsicherheitsuntersuchung die höchste Dispersion aufwies, wurde der Körperschwerpunkt am weitesten Richtung Vorfuß verlagert.

Die Versuche 1 bis 3 wurden auf der rechten und auf der linken Standseite in unterschiedlich starker Supinationsbelastung des Fußes absolviert.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
linke Seite	y = 21,8	y = 25,43	y = 24,81
rechte Seite	y = 15,81	y = 22,37	y = 18,89
linke Seite	x = 14,65	x = 6,82	x = 6,55
rechte Seite	x = 7,91	x = 11,2	x = 9,07

Tabelle 14: Intraindividueller Vergleich der Vorfuß-/Rückfußverlagerung (y-Werte), bzw. Pronations-/Supinationsverlagerung (x-Werte) bei der Kontrollgruppe.

Gruppe		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Gruppe 3	rechts	21,8	25,43	24,81
	links	15,81	22,37	18,89
Gruppe 2	gesund	30,91	34,04	23,84
	stabil	24,45	1,12	5,57
Gruppe 1	gesund	29,4	32,16	24,39
	instabil	25,91	-4,36	0,27

Tabelle 15: Intra- und interindividueller Vergleich der Ergebnisse der Gewichtsverlagerung Vorfuß/Rückfuß im Einbeinstand.

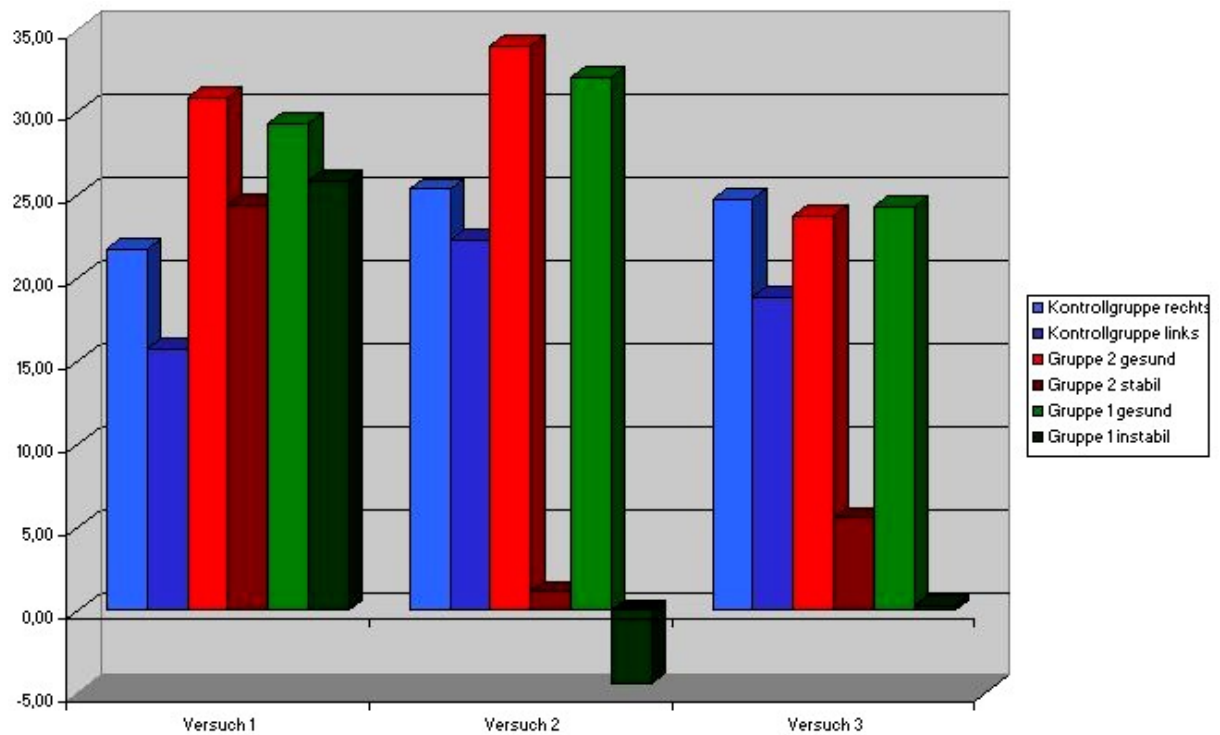


Abb. 11: Graphische Darstellung der Vorfuß-/Rückfußverlagerung (y-Werte) im Einbeinstand. Je größer ein positiver y-Wert ist, desto stärker ist die Gewichtsverlagerung auf den Vorfuß.

Gruppe	Gruppe 3	Gruppe 2	Gruppe 1
Seite	links-rechts	gesund-stabil	gesund-instabil
Versuch 2	$p = 0,37$	$p = 4,0 \times 10^{-11}$	$p = 7,8 \times 10^{-10}$

Tabelle 16: Intraindividueller Vergleich der Gruppen bezüglich der errechneten Signifikanzen bei dem Versuch 2 im Einbeinstand bei der Gewichtsverlagerung in Vorfuß-/Rückfußrichtung.

8.7.3. Ergebnisse des Leistungstests unter visueller Kontrolle

Bei diesem Testprogramm, das von den Testpersonen unter visueller Kontroll- und Korrekturmöglichkeit absolviert wurde, erzielten alle 3 Gruppen vergleichbare Ergebnisse.

Die Kontrollgruppe erreichte auf der linken Seite einen Genauigkeitsindex von 38,29%, auf der rechten Seite einen von 37,48%.

Die Gruppe 1 erzielte auf der instabilen Sprunggelenksseite einen geringfügig höheren Genauigkeitsindex von 37,19% verglichen mit der gesunden Seite (37,02%).

Die Gruppe 2 schnitt mit einem Genauigkeitsindex auf der gesunden Seite von 36,83% und/oder 36,45% auf der ehemals traumatisierten Seite nur unbedeutend schlechter ab.

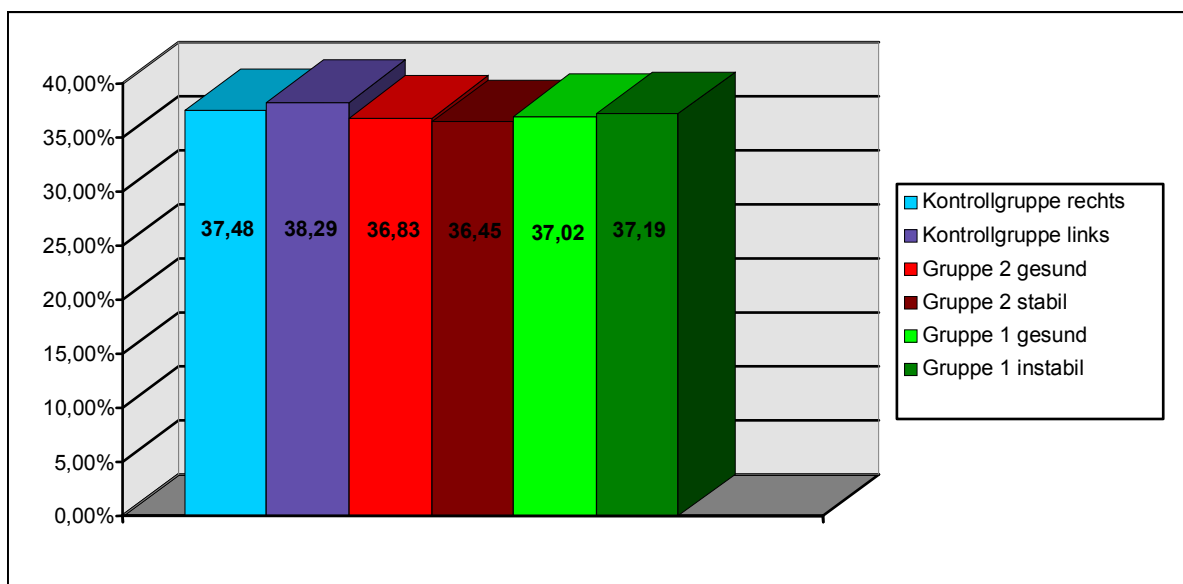


Abb. 12: Intra- und interindividueller Vergleich der Gruppen bezüglich der erzielten Ergebnisse (Genauigkeitsindex) beim Test unter visueller Kontrolle.

8.8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Anamnestisch und mittels klinisch-neurologischer Tests konnte eine grobe neurologische Störung als Ursache der rezidivierenden Instabilität ausgeschlossen werden.

Die Patienten der Gruppe 1 zeigten auf ihrer gesunden Sprunggelenksseite in allen Untersuchungen und Tests die gleichen Ergebnisse wie die Kontrollgruppe.

Anhand der klinischen und radiologischen Untersuchung der Sprunggelenke konnte eine mechanische Bandinstabilität als Ursache der funktionellen Instabilität ausgeschlossen werden. Die Untersuchung der Kraftmessung erbrachte ebenfalls keinen Unterschied der Gruppen bezüglich der Kraft als Auslöser der beklagten Instabilität.

Im Instabilitätsscore wurden für die betroffene Sprunggelenksseite der Gruppe 1 signifikant höhere Einzel- und Summenscorewerte gegenüber den gesunden Probanden festgestellt. Dies bestätigt die Übereinstimmung von subjektiv empfundener Instabilität und klinischer Untersuchung.

Die Untersuchung des Lagesinns mittels Winkelreproduktion zeigte bei der Gruppe 1 eine signifikant höhere Abweichung beim Vergleich der Summenabweichung aller Winkel und eine signifikant höhere Abweichung beim Einzelwinkel von 15°.

Bei der Untersuchung der Lastverteilung mit dem CHATTECX Balance System konnten im Einbeinstand Unterschiede in der Gewichtsverlagerung festgestellt werden.

Bei zunehmender Standunsicherheit verlagerten alle Personen das Gewicht immer weiter auf den Vorfuß. Eine Ausnahme bildete die Gruppe 2 mit der ehemals verletzten Seite und die Gruppe 1 auf ihrer instabilen Sprunggelenkseite. Bei beiden Gruppen fehlte die Gewichtsverlagerung nach vorn. Die Gruppe 1 verlagerte den Schwerpunkt sogar über den Mittelpunkt hinaus auf die Ferse.

Mittels der Untersuchung der Dispersion als Maß der Standunsicherheit mit dem Balance-System konnte bei der Gruppe eine signifikant höhere Dispersion im Einbeinstand in Versuch 2 gemessen werden. In diesem Versuch, der mit geschlossenen Augen und unbewegter Plattform durchgeführt wurde, war gegenüber allen anderen Sprunggelenksseiten der Gruppen eine signifikant höhere Dispersion gemessen worden. Bei den Versuchen mit offenen Augen und stabiler oder bewegter Plattform war dieser Unterschied nicht feststellbar.

Beim Leistungstest, bei dem die Versuchspersonen ihre Gewichtsverlagerung auf dem Monitor kontrollieren und korrigieren konnten, wurden keine Unterschiede innerhalb und zwischen den Gruppen festgestellt.

9. DISKUSSION

9.1. Fragebogen

Alle Gruppen waren hinsichtlich ihres Alters und ihrer sportlichen Betätigung gut miteinander vergleichbar. In allen 3 Gruppen handelte es sich fast ausschließlich um Rechtshänder. Von den Gruppen 1 und 2 wurden als Sport überwiegend Ballsportarten angegeben. Dies deckt sich mit den Angaben von KNAEPLER (1989) und STEINBRÜCK (1992), die beide bei der Verteilung der Sportarten, die zu Verletzungen am oberen Sprunggelenk führen, die Ballsportarten an erster Stelle sahen. Hinsichtlich der Intensität der Sportausübung gab es zwischen den Gruppen keinen relevanten Unterschied. Während bei der Gruppe 1 und 3 alle Teilnehmer Sport betrieben, fanden sich in Gruppe 2 zwei Nichtsportler von 30 Untersuchten. Für keinen der Untersuchten waren die Verletzungsfolgen so groß, dass sie mit dem Sporttreiben aufhören mussten. Lediglich ein Proband je Gruppe 1 und 2 änderte verletzungsbedingt die Sportart. Dies stellt mit einem Grund dar, weswegen der Verletzung von den Patienten zumindest in jungen Jahren nicht genügend Bedeutung beigemessen wird. Dies ist jedoch von großer Bedeutung bezüglich des bekannten hohen Risikos der Arthroseentwicklung bei funktionell instabilen Personen (MCKINLEY, 2004). Entsprechend ihrer Gruppeneinstufung wurden Bandagen und/oder Orthesen im Sport von Gruppe 1 am häufigsten benutzt (8x). In Gruppe 2 trugen nur zwei Kandidaten eine externe Stabilisation im Sport, in der Kontrollgruppe benutzte keiner eine Stabilisierung.

Bezüglich der Nachbehandlung von Sprunggelenksverletzungen ist festzustellen, dass einer krankengymnastischen Nachbehandlung kaum Beachtung geschenkt wurde. Diese wird jedoch von manchen Autoren als Schwerpunkt des Therapieregimes eingestuft (MATTACOLA, 2002; DI GIOVANNI, 2004). Lediglich 3 Patienten der Gruppe 1 und 5 Patienten der Gruppe 2 wurden mit krankengymnastischen Bewegungsübungen und Übungen zur Muskelkräftigung nachbehandelt. Bei keinem

Patienten wurde ein Reflexttraining auf neurophysiologischer Grundlage zur Schulung der Propriozeption nach Ausheilung der Verletzung durchgeführt.

Anamnestisch wurden einige externe Ursachen, die die Standsicherheit der untersuchten Personen hätten beeinträchtigen können, abgeklärt. So konnte eine neurologische-, internistische- oder HNO-Grunderkrankung bei keiner Person festgestellt werden. Kein Patient hatte zusätzliche Verletzungen der unteren Extremität, die seine Standsicherheit negativ hätte beeinflussen können. Eine subjektiv verminderte Kraft in der betroffenen Extremität wurde ebenfalls nicht angegeben, sodass diese nach ZWIPP (1986) externe Ursache einer Instabilität zumindest anamnestisch nicht zutraf.

9.2. Klinische Untersuchung

Die durch die klinische Untersuchung gewonnenen Informationen wurden benutzt um eine mechanische Bandinstabilität und andere endogene Faktoren als Ursache der Instabilitätsbeschwerden auszuschließen. So zeigten sich bei der Instabilitätsprüfung der Gruppen im Vergleich keine relevanten Unterschiede.

Andere endogene Faktoren, wie beispielsweise eine statische Fußfehlstellung, ein muskuläres Defizit der Unterschenkelmuskulatur oder ein neurologisches Defizit konnten im Vergleich der Gruppen nicht als Ursache einer Instabilität gefunden werden. Ein Pes varus war insgesamt sehr selten zu finden und war in der Gruppe 1 genauso häufig anzutreffen wie in der Kontrollgruppe. Die Grobkraftmessung und die Umfangmessungen als indirektes Zeichen der Muskelkraft zeigten in allen drei Gruppen keine relevanten Unterschiede. Eine verminderte Beweglichkeit der Sprunggelenke war in Gruppe 2 häufiger anzutreffen als in Gruppe 1 und kann somit nicht für eine Instabilität ursächlich sein.

Der mediale und laterale Fußkantengang war, außer bei einem Patienten der Gruppe 2, bei allen Personen wie auch die weiteren neurologischen Tests unauffällig, sodass eine grobe neurologische Störung auszuschließen war.

9.3. Instabilitätsscore

Die gemäß FREEMANS (1965a) Definition der „funktionellen Instabilität“ anamnestisch gewonnenen subjektiven Informationen der Patienten bezüglich der Umknickfrequenz, der Gangunsicherheit, der externen Sprunggelenksstabilisation, der Einschränkung im Sport und der Angst vor dem Umknicken wurden zur Erstellung eines Instabilitätsscores genutzt. Hierbei wurden oben genannte Parameter in abgestufter Bewertung zusammengefasst und eine Summenpunktzahl der Instabilität ermittelt. Dieser Instabilitätsscore erwies sich als sehr geeignet, die subjektive, chronische Instabilität der Patienten zu quantifizieren.

Es ist jedoch zu beachten, dass durch diesen Score bei mechanisch instabilen Patienten ebenfalls eine chronische Instabilität eruiert werden kann. Somit muss man eine mechanische Instabilität klinisch und radiologisch ausschließen, bevor man die anamnestisch ermittelten Angaben zum Aufstellen der Arbeitsdiagnose einer funktionellen Instabilität benutzt.

Die anhand des Scores als instabil eingestuften Patienten konnten nach der klinischen und radiologischen Untersuchung, die keinen Zusammenhang zwischen mechanischer Außenbandstabilität und den von den Patienten beklagten Instabilitätsbeschwerden ergab, als funktionell instabile Patienten beurteilt werden.

Die stabilometrischen Untersuchungen, die für diese Gruppe eine schlechtere Standsicherheit ergab, bestätigten die anamnestisch gemachte Einteilung.

9.4. Röntgenuntersuchung - gehaltene Aufnahmen

Die im Seitenvergleich gemachten Stressaufnahmen zur Bestimmung des Taluskippwinkels wurden mit einem Gerät nach Scheuba durchgeführt. Dieses Gerät erlaubt eine standardisierte Lagerung der Patienten und einen langsam auf den festgesetzten Wert steigenden Druck am Sprunggelenk. Die Untersuchung der Aufklappbarkeit ist bei frisch traumatisierten Sprunggelenken eine sehr schmerzhaftes Anliegen, die eine reflektorische Muskelgegenspannung provozieren kann und dann falsch negative Werte entstehen lässt. Deshalb wird eine Anästhesie des Sprunggelenks bei frisch Verletzten gefordert.

Bei beiden untersuchten Gruppen waren alle Sprunggelenke reizlos und die Untersuchung mit 15 kp Varusstress schmerzfrei möglich, sodass auf eine Anästhesie verzichtet werden konnte. Bei einer Belastung mit 15 kp wird eine Aufklappbarkeit bis 5° als normal gewertet. Eine Aufklappbarkeit zwischen 6° und 10° und/oder eine Seitendifferenz bis 5° wird bei einer frischen Verletzung als Überdehnung und/oder als eine partielle Ruptur gewertet. Analog dazu sprechen diese Werte bei alten Verletzungen für eine leichte mechanische Instabilität. Darüberliegende Werte sind als komplette Ruptur und/oder starke mechanische Instabilität zu werten. Diese Interpretation ist in dieser Form weit verbreitet und wird zur Diagnostik von Außenbandverletzungen am oberen Sprunggelenk routinemäßig eingesetzt. Dennoch ist diese Untersuchungstechnik und ihre Interpretation weiterhin umstritten. Es bestehen unterschiedliche Vorstellungen bezüglich der benötigten Druckbelastung und der Interpretation ermittelter Zahlengrenzwerte (ORTHNER, 1989).

In Gruppe 1 und 2 waren die durchschnittlichen Werte für die Aufklappbarkeit sowohl für die gesunden, als auch für die traumatisierten Seiten, immer unter 5°. Somit lagen die Werte für die Seitendifferenz ebenfalls unter 5° lateraler Aufklappbarkeit. Anhand dieser Werte können die Sprunggelenke beider Gruppen als mechanisch stabil angesehen werden. Dies bedeutet, dass durch die Behandlung der Gruppe 2 (konservativ oder operativ) neben der subjektiven Stabilität der Patienten auch eine

objektive Stabilität erzielt wurde. Für die Gruppe 1 kann festgestellt werden, dass keine mechanische Bandinstabilität für die auftretenden Beschwerden ursächlich ist und somit eine funktionelle Instabilität vorliegt.

9.5. Kraftmessung

Die Muskelschwäche der Peronealmuskulatur wird als eine mögliche Ursache der funktionellen Instabilität des oberen Sprunggelenks angesehen (TROPP, 1986; Zwipp, 1986). Es ist bekannt, dass die Peronealmuskulatur eine wichtige Rolle spielt bei der Vermeidung von Ligamentverletzungen am Außenknöchel. Dabei ist die Kraft von M. peroneus longus und brevis sehr wichtig um plötzlich auftretenden Stress auf die Außenbänder zu verringern und somit die Bandstabilität nicht zu überschreiten. Deshalb tragen die Peronealmuskeln auch die Bezeichnung aktive Außenbänder des oberen Sprunggelenks (CASTAING, 1961).

In Analogie zum Kniegelenk, wo eine Atrophie der Quadricepsmuskulatur nach Immobilisation zur Kniegelenkinstabilität führt, kann eine sekundäre Muskelschwäche der Peronealmuskulatur zur Instabilität am oberen Sprunggelenk führen. TROPP (1986) fand bei seinen Untersuchungen an Sportlern mit mehreren Sprunggelenks-traumen eine signifikante Schwäche der Peronealmuskulatur am betroffenen Gelenk bei seitengleicher Muskelkraft der Dorsalextensoren. Er sah in seinen Ergebnissen eine Bestätigung der schon in der Vergangenheit entwickelten Theorie, dass die Schwäche der Peronealmuskulatur eine Komponente der funktionellen Instabilität am Sprunggelenk darstellt. Das muskuläre Defizit war seiner Meinung nach in einer unzureichenden Rehabilitation mit daraus folgender Muskelatrophie zu sehen.

In unseren Untersuchungen konnte weder eine verminderte Kraft bei der klinischen Untersuchung der Grobkraft der Gruppen festgestellt werden, noch lag ein Unterschied in der Muskelmasse vor bei den Umfangsmessungen der Gruppe 1 im Seitenvergleich. Bei der durchgeführten Messung der isometrischen Maximalkraft der Gruppe konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen der betroffenen

und der gesunden Sprunggelenkseite der Patienten gefunden werden. Interindividuelle Vergleiche sind wegen der Inhomogenität der Gruppe bezüglich der Muskelkraft nicht sinnvoll. Da es sich hierbei jedoch um die dreimalige Messung der isometrischen Maximalkraft handelt, kann man nur folgern, dass keine Muskelatrophie mit Verminderung der Maximalkraft in den untersuchten Gruppe vorliegt. Eine eventuell vorhandene Schwäche der Peronealmuskulatur mit frühzeitiger Ermüdung bei längerer dynamischer Belastung, wie sie bei fast allen Sportarten auftritt, kann jedoch so nicht ausgeschlossen werden und bedarf der weiteren Untersuchung.

9.6. Lagesinn

GLENCROSS und THORNTON (1981) untersuchten experimentell den Stellungssinn von 24 Sportlern, die mindestens 8 Monate zuvor wegen eines Sprunggelenktraumas behandelt wurden. Bei dieser in Flexions-Extensionsrichtung durchgeführten Untersuchung der Sprunggelenke, bei der zuvor passiv eingestellte Winkel von den Versuchspersonen anschließend aktiv reproduziert werden mussten, konnte ein signifikant größerer Reproduktionsfehler bei den verletzten Sprunggelenken gegenüber den unverletzten gefunden werden. Ein propriozeptives Defizit durch verletzungsbedingte Reduktion intakter Propriozeptoren wurde von den Untersuchern für diese Störung des Lagesinns der verletzten Sprunggelenke verantwortlich gemacht. Zu gleichen Aussagen kam auch HERTEL (2002). Weiterhin wurde in dieser Untersuchung ein Zusammenhang zwischen dem Bewegungsausmaß der einzustellenden Winkel und der Größe des Reproduktionsfehlers gefunden. Die Genauigkeit der Winkelreproduktion nahm mit der Zunahme des einzustellenden Winkels linear ab. Zu derselben Feststellung kam SCHENKER (1989) bei seinen experimentellen Untersuchungen zum Einfluss äußerer Stabilisationshilfen auf die Propriozeption am Sprunggelenk. Bei seinen Untersuchungen zum Stellungssinn, die ebenfalls in Flexionsrichtung durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass mit Zunahme der zu replizierenden Winkel der Fehler bei der Replikation in gleicher Weise zunahm.

JEROSCH (1994) untersuchte 14 gesunde Personen und 16 Personen mit instabilen Sprunggelenken bezüglich ihrer propriozeptiven Fähigkeiten. Seine Untersuchung zum Lagesinn wurde mittels eines Winkelreproduktionstests durchgeführt, wobei die Reproduktionsgenauigkeit von 3 verschiedenen Inversionsgraden an den Sprunggelenken getestet wurde. Im Gegensatz zu den vorherigen Untersuchungen wurden hier beide Füße getrennt getestet. Zwischen den Sprunggelenken der gesunden Personen konnte keine Differenz festgestellt werden. Der Vergleich zwischen verletztem und unverletztem Sprunggelenk zeigte jedoch hoch signifikant schlechtere Werte bei der Winkelreproduktion auf der verletzten Seite.

Dagegen fand GROSS (1987) bei seinen Untersuchungen zum Gelenkpositionssinn bei Personen mit sich wiederholenden Sprunggelenkstraumen und gesunden Personen keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Somit war in dieser Studie, bei der die Winkelreproduktionen ebenfalls in Inversions- und Eversionsrichtung untersucht wurden, kein propriozeptives Defizit durch Verletzung des Kapselbandapparats festzustellen.

In diesen sich anscheinend widersprechenden Studien zum Lagesinn am Sprunggelenk wurden immer Personen untersucht, bei denen ein Sprunggelenkstrauma vorlag. Hinsichtlich des Therapieerfolgs und/oder der posttraumatisch bestehenden mechanischen oder funktionellen Stabilität der Sprunggelenksverletzten wurden jedoch keine Unterschiede gemacht. Vor diesem Hintergrund lässt sich dieser scheinbare Widerspruch auch anhand unserer Ergebnisse erklären.

Übereinstimmend mit GLENNCROSS und THORNTON (1981) und SCHENKER (1989) fanden auch wir in allen Gruppen eine Zunahme des Replikationsfehlers bei steigender Winkeleinstellung. Darüber hinaus konnte ein signifikanter Unterschied der Replikationsfehler bei der Winkeleinstellung festgestellt werden. Dabei handelte es sich um die Gruppe 1 mit posttraumatisch mechanischer Stabilität, die auf der instabilen Sprunggelenkseite signifikant schlechtere Werte aufwies, nicht nur gegenüber den anderen Gruppen, sondern insbesondere gegenüber der eigenen

gesunden Sprunggelenkseite. Das Gruppe mit posttraumatisch mechanisch stabil ausgeheilte Sprunggelenksverletzung und funktioneller Stabilität zeigte zwar geringfügig schlechtere Werte auf der verletzten Seite, die jedoch nicht signifikant waren.

Diese Ergebnisse der Gruppe 2 stimmen überein mit den Ergebnissen von GROSS (1987), in dessen Kollektiven sich vermutlich Sprunggelenksverletzte ohne funktionelle Instabilität befanden. Weiterhin muss vermutet werden, dass in den Studien mit signifikant höherem Replikationsfehler beim Lagesinn, analog zu unseren Ergebnissen, überwiegend funktionell instabile Personen untersucht wurden.

Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Störung des Lagesinns, ermittelt mit einem Winkelreproduktionstest eine Ursache für die funktionelle Instabilität am Sprunggelenk darstellt. Weiterhin ist festzustellen, dass ein Supinationstrauma am oberen Sprunggelenk mit einer die verletzte Extremität betreffenden Störung der propriozeptiven Wahrnehmung einhergeht. Diese kann gering ausfallen oder posttraumatisch kompensiert werden und ohne Einfluss auf die Sprunggelenksstabilität bleiben (siehe Gruppe 2) oder zu einer funktionellen Instabilität mit rezidivierenden Umknickereignissen führen.

9.7. CHATTECX Balance System

9.7.1. Lastverteilung

Bei den Untersuchungen im Beidbeinstand zeigten alle 3 Gruppen gleiches Verhalten bei der Lastverteilung. Der leichteste Versuch kann ohne Schwierigkeiten bei neutraler Vorfuß-/Rückfußbelastung absolviert werden. Die verminderte Standsicherheit bei den folgenden Versuchen wurde mittels zunehmender Schwerpunktverlagerung nach vorne auf eine größere Auftrittfläche beantwortet, um eine bestmögliche Stabilität und Standsicherheit zu erzielen.

Im Einbeinstand zeigen alle 3 Gruppen bei den Tests, die auf den gesunden Sprunggelenksseiten stehend absolviert wurden, ebenfalls eine Gewichtsverlagerung auf den Vorfuß um der zunehmenden Standunsicherheit entgegenzuwirken. Da im Vergleich zum Beidbeinstand die Standunsicherheit höher ist, wurde der leichteste Versuch schon deutlich weiter auf dem Vorfuß stehend absolviert. Die zunehmende Standunsicherheit bei den weiteren Versuchen wird ebenfalls durch Gewichtsverlagerung auf eine größere Auftrittfläche entsprechend dem Verlauf im Beidbeinstand korrigiert.

Die Untersuchungen auf der instabilen Sprunggelenksseite der Gruppe 1 und auf der traumatisierten Seite der Gruppe 2 zeigen ein gegensinniges Verhalten. Die Probanden beginnen den leichtesten Versuch zwar auch auf dem Vorfuß stehend, verlagern dann jedoch bei den schwierigeren Versuchen das Gewicht Richtung Ferse und verringern dadurch deutlich die Auftrittfläche des Fußes. Dieses Fehlverhalten ist bei der Gruppe 1 ausgeprägter als bei der Gruppe 2. Dadurch erzielt die Gruppe 1 zum Teil signifikant schlechtere Werte der Standsicherheit, sogar gegenüber der Traumaseite der Gruppe 2 mit ähnlichem Fehlverhalten bei der Gewichtsverlagerung.

Dieses streng einseitige Fehlverhalten kann als Störung des Lagesinns in Flexions-/ Extensionsrichtung entsprechend den Untersuchungen von GLENNCROSS und THORNTON (1981) und SCHENKER (1989) interpretiert werden. Es handelt sich sehr wahrscheinlich um eine Störung der Afferenz, da die gesunden Sprunggelenksseiten eine normale Gewichtsverlagerung und eine der Kontrollgruppe entsprechende Standsicherheit zeigen. Diese Tatsache unterstützt somit ebenfalls die Theorie der einseitigen, peripheren Störung der Propriozeption. Diese Störung kann unterschiedlich stark ausgeprägt sein und führt erst ab einem bestimmten Ausmaß zu einer auffälligen Instabilität.

9.7.2. Dispersion

FREEMAN (1965a, 1965b) benutzte zur Untersuchung der Standsicherheit sprunggelenksverletzter Personen einen modifizierten Rombergtest und fand eine verminderte Standsicherheit dieser Personen im Stand auf dem verletzten Sprunggelenk. Seiner Meinung nach führt die Verletzung des Kapsel-/Bandapparates gleichzeitig zu einer Schädigung der für die Propriozeptivität der Sprunggelenke zuständigen Rezeptoren mit nachfolgender partieller Afferenzstörung der propriozeptiven Wahrnehmung mit resultierender funktioneller Instabilität.

BLACK (1982) fand bei seinen Untersuchungen mit dem Rombergtest keine differente Standsicherheit bei Personen unterschiedlichen Alters oder Geschlechts. Er konnte jedoch zeigen, dass die Personen bei den Untersuchungen mit offenen Augen deutlich bessere Ergebnisse erzielten als mit geschlossenen Augen. Dies zeigt den starken Einfluss der visuellen Kontrolle auf die Standsicherheit.

TROPP (1984a, 1984b, 1985b) führte stabilometrische Untersuchungen zur Standsicherheit mittels einer Druckmessplatte durch. Diese statischen Versuche wurden im Einbeinstand bei offenen Augen, in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Er konnte zeigen, dass die Ergebnisse der Stabilometrie sehr gut mit dem klinischen Bild der funktionellen Instabilität korrelieren. Er fand jedoch keine Bestätigung für

bestehende Theorien, dass eine Sprunggelenksverletzung selbst eine funktionelle Instabilität auslöst.

Allerdings zeigten Sportler mit schlechten Stabilometriewerten ein signifikant höheres Risiko für das erneute Auftreten einer Sprunggelenksverletzung. Diese Ergebnisse funktionell instabiler Sportler standen in keinem Zusammenhang mit einer gleichzeitig vorhandenen mechanischen Instabilität, da rein mechanisch instabile Sportler keine Unterschiede in den Stabilometriewerten gegenüber Gesunden zeigten. Somit ist TROPPEs Meinung nach die mechanische Instabilität ein sekundär auftretendes, paralleles Problem.

GAUFFIN und TROPPE (1988) bestätigten voranstehende Ergebnisse erhöhter Stabilometriewerte funktionell instabiler Patienten. Sie führten weiterhin ein Trainingsprogramm zur Schulung der Koordination der betroffenen Sprunggelenksseite der Sportler durch und untersuchten anschließend nochmals beide Seiten stabilometrisch im Einbeinstand. Hier zeigte sich eine Verbesserung der Standsicherheit auf beiden Seiten, obwohl nur die verletzte Seite trainiert wurde. Die Autoren sahen darin eine Widerlegung der Theorie der peripheren propriozeptiven Störung der Afferenz und vermuteten eine zentrale Ursache der Störung.

TROPPE (1988b) untersuchte während stabilometrischer Tests das Verhalten des Körpers bei der Stabilisierung des Gleichgewichts. Er fand eine vermehrte Korrekturbewegung in Knie und Hüfte bei funktionell instabilen Patienten, bei denen erhöhte Stabilometriewerte festgestellt wurden. Dies sprach seiner Meinung nach ebenfalls gegen einen peripheren Rezeptorschaden als Ursache der funktionellen Instabilität. Er postulierte ein hierarchisch organisiertes System zur Gleichgewichtskontrolle bestehend aus vestibulären, visuellen und propriozeptiven Einflüssen, die ein zentral motorisches, erlerntes Bewegungsprogramm moduliert. Die Bewahrung des Gleichgewichts ist nach seiner Meinung eine Summe von kompensatorischen Ausgleichbewegungen in Sprunggelenk, Knie und Hüfte, wobei alle Ausgleichbewe-

gungen letztlich über das Sprunggelenk laufen, welches somit die entscheidende Korrekturstelle einnimmt.

In den bisher beschriebenen Arbeiten wurden ausschließlich Personen nach erlittener Verletzung untersucht. Mehrfach waren beide Sprunggelenke einer Person verletzt und wurden getestet. Über die verbliebene mechanische Stabilität der Sprunggelenke wurden keine Aussagen gemacht und somit mechanisch und funktionell Instabile in den Untersuchungen vermischt. Dies erklärt die Tatsache, dass in einigen Arbeiten keine unterschiedlichen Stabilometriewerte gefunden werden konnten. Die Versuche wurden statisch durchgeführt, eine Unterscheidung in Versuche mit und ohne visuelle Kontrolle wurde bei diesen stabilometrischen Untersuchungen nicht durchgeführt. Der intraindividuelle Vergleich der Sprunggelenke einer Person, der zur Unterscheidung eines zentralen oder eines peripheren Geschehens wichtig ist, wurde ebenfalls nicht berücksichtigt.

JEROSCH (1994) untersuchte die propriozeptiven Fähigkeiten bei Personen mit stabilen und instabilen Sprunggelenken mit einem Einbeinstand-Balance-Test. Nachdem Vortests auf einer harten Unterlage nur eine geringe Fehlerhäufigkeit zeigten, wurden die Tests auf einer weichen Turnmatte stehend je eine Minute mit offenen und geschlossenen Augen durchgeführt. Diese Maßnahme erhöhte die Fehlerhäufigkeit und er fand einen hoch signifikanten Unterschied im intraindividuellen Vergleich zwischen stabilen und instabilen Sprunggelenken. Ein interindividueller Vergleich wurde nicht durchgeführt. Die Ergebnisse mit und ohne visuelle Kontrolle wurden nicht getrennt dargestellt. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass eine Instabilität nur ab einer genügend hohen Anforderung an die Standsicherheit der Personen nachweisbar ist.

Unsere Ergebnisse bei der Testung der Standsicherheit zeigten beim intraindividuellen Vergleich der Gruppe 1 in den Einbeinstandversuchen nur einen signifikanten Unterschied bei den Versuchen mit geschlossenen Augen (keine Afferenzen über

das visuelle System) und unbewegter Plattform (stark verminderte Afferenz vom Gleichgewichtsorgan).

Dieser Unterschied ist im interindividuellen Vergleich mit der Kontrollgruppe und der Gruppe 2 ebenfalls signifikant, während zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe 2 kein Unterschied festzustellen ist.

Gegen eine zentrale Ursache der funktionellen Instabilität sprechen:

- die verminderte Standsicherheit tritt im intraindividuellen Vergleich der Gruppe 1 streng einseitig auf,
- die Instabilität ist in den Versuchen, bei denen Afferenzen zentraler Strukturen (Auge, Gleichgewichtsorgan) verarbeitet werden, nicht nachweisbar und
- die funktionelle Instabilität ist nur in dem Versuch nachweisbar, bei dem Afferenzen von Auge und Gleichgewichtsorgan ausgeschaltet sind und somit ausschließlich die Afferenzen des propriozeptiven Systems zur Standsicherheit beitragen.

Die bei fehlender visueller Beteiligung nachweisbare Instabilität beruht somit auf einer einseitigen, neurogenen Fehlsteuerung durch eine Verringerung der peripheren Afferenzen der beteiligten Propriozeptoren. Die Versuche mit offenen Augen werden allesamt mit gleicher Standsicherheit durchgeführt. Somit kann die bestehende propriozeptive Afferenzverminderung als Ursache der funktionellen Instabilität durch visuelle Informationsbeteiligung und/oder durch Afferenzen vom Gleichgewichtsorgan voll kompensiert werden, das heißt die Gesamtheit der Afferenzen ist ausreichend um das peripher bestehende propriozeptive Defizit auszugleichen.

Nicht eindeutig zu beantworten ist die Frage, ob ein derartiges propriozeptives Defizit Folge einer Kapsel-/Bandverletzung mit Schädigung der Propriozeptoren ist, oder ob es latent vorliegt und zunehmend manifest wird in Form von rezidivierenden, leichteren Umknickereignissen bis hin zur Außenbandruptur. Sicher kann man sagen, dass nicht jede Außenbandruptur zur funktionellen Instabilität führt, da die Gruppe 2, welche durchweg aus behandelten Personen nach Außenbandruptur bestand keine signifikante Standunsicherheit zeigte. Da ein großer Teil der Gruppe 1 vor dem Beginn seiner Beschwerden nie eine Sprunggelenksverletzung hatte, liegt die Vermutung nahe, dass bei diesen Personen eine neurogene Fehlsteuerung Ursache der sich anschließenden Beschwerden war.

9.7.3. Leistungstest unter visueller Kontrolle

Bei diesem Test konnten die Personen ihre Lageabweichungen vom Zielgebiet anhand des Cursors auf dem Monitor erkennen, die Ausgleichbewegungen planen und die Ausführung ihrer Korrekturbewegungen überprüfen. Alle drei Gruppen erzielten gleiche Ergebnisse. Somit konnte die Gruppe 1 bei diesem Versuchsaufbau die vorhandene neurogene Fehlsteuerung durch die Afferenzen von Auge und Gleichgewichtsorgan voll kompensieren.

9.8. Zusammenfassende Diskussion

Neben frischen Verletzungen am oberen Sprunggelenk sind Beschwerden, die als chronische Instabilität am oberen Sprunggelenk zusammengefasst werden, sehr häufig. Diese chronische Instabilität, die unter anderem mit einer erhöhten Umknickneigung oder Angst vor dem Umknicken einhergeht, kann mithilfe des von uns benutzten Instabilitätsscores eingegrenzt werden.

Unterscheiden kann man 2 Formen der chronischen Instabilität.

Die mechanisch bedingte chronische Instabilität geht mit einer Lockerung des Kapsel-/Bandapparates am Außenknöchel einher und ist mittels gehaltenen Röntgenaufnahmen leicht nachzuweisen.

Als funktionell instabil werden chronisch instabile Patienten mit mechanisch stabilem Bandapparat bezeichnet. Diese Form der Instabilität kann durch die mechanisch ausgerichteten Untersuchungsmethoden im klinischen Alltag nicht nachgewiesen werden. Sie lässt sich jedoch durch die von uns benutzten funktionellen Untersuchungsmethoden objektivieren. Mittels der Testung des Lagesinns im Winkelreproduktionstest lässt sich eine, auf die instabile Sprunggelenksseite des Patienten beschränkte, höhere Winkelabweichung feststellen. Bei der Stabilometrieuntersuchung mittels des Balance-Gerätes lässt sich eine einseitig erhöhte Dispersion als Maß der Standunsicherheit ermitteln. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass für diese Tests Versuche mit geschlossenen Augen und unbewegter Standfläche am besten geeignet sind. Da eine erhöhte Dispersion bei unseren Untersuchungen im intraindividuellen Vergleich messbar war, eignet sich bei einseitigen Beschwerden des Patienten die Balance-Untersuchung im Seitenvergleich zur Objektivierung. Die Festlegung von Grenzwerten ist somit nicht nötig.

Bezogen auf die eingangs aufgestellten **Hypothesen** ist festzustellen, dass die funktionelle Instabilität nicht auf einem einseitigen Kraftdefizit beruht, sondern in einer peripher bedingten Störung der Propriozeption. Sie lässt sich als einseitige Störung des Lagesinns und der Standsicherheit nachweisen.

Bei chronisch instabilen Patienten mit mechanischer Instabilität werden operativ stabilisierende Maßnahmen angewandt, die bei funktionell instabilen Patienten nicht geeignet sind, die Instabilität zu verbessern. TROPP (1985a) konnte in seiner Studie an schwedischen Fußballspielern der Nationalliga mit instabilen Sprunggelenken nachweisen, dass eine regelmäßige Schulung der Propriozeptivität auf einem Therapiekreisel eine verletzungsverbeugende Wirkung hatte.

FREEMAN (1965b) konnte ebenfalls eine Verbesserung der Propriozeptivität nach Koordinations- und Reflexttraining nachweisen. GLEITZ (1992) zeigte, dass ein Reflexttraining auf der Basis eines visuellen Feedback-Mechanismus geeignet ist, eine funktionelle Instabilität zu verringern.

DELPLACE und CASTAING (1975) konnten die Effektivität des Reflexttrainings ebenfalls bestätigen. Sie sahen den Erfolg des Trainings in einem Ausgleich des Informationsdefizits der geschädigten Rezeptoren durch Schulung intakter Afferenzen. Dies wird von neueren Studien untermauert (BLACKBURN, 2000; HESS, 2001; MATTACOLA, 2002; DI GIOVANNI, 2004).

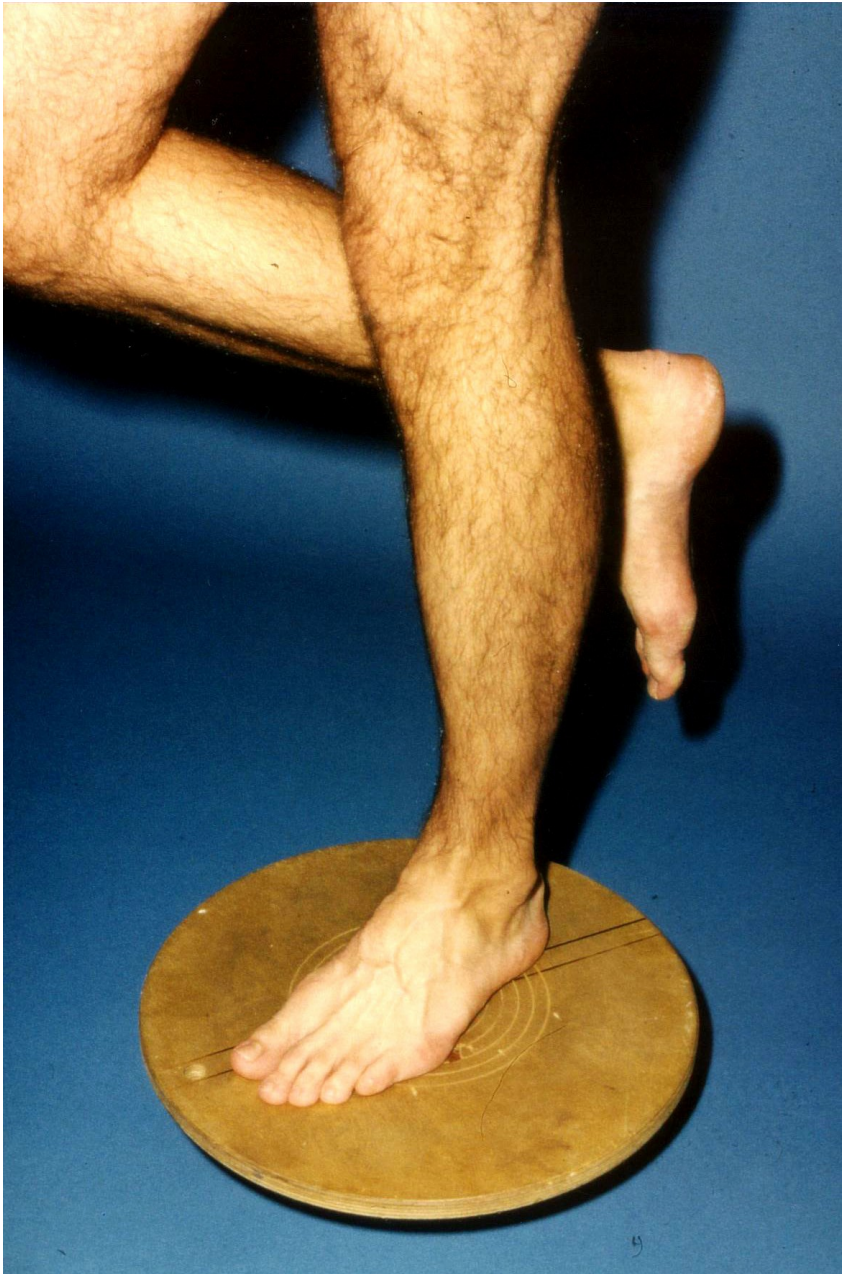


Abb. 13: Training der Propriozeption auf einem Therapie-Kreisel.

Als Schlussfolgerung für die Praxis ist also als Therapie der funktionellen Instabilität am Sprunggelenk ein Training auf neurophysiologischer Grundlage zu empfehlen. Dieses Training sollte im Einbeinstand mit stufenweise zunehmender Anforderung

an die Standsicherheit des Patienten durchgeführt werden. Das Training kann anfangs auf ebenem, festem Untergrund durchgeführt werden, anschließend sind Übungen mit einer dicken Schaumstoffmatte als Standfläche sowie die Benutzung eines Therapiekreisels und eines Minitrampolins als Trainingsmöglichkeiten zu nennen.

Das von uns zur Diagnostik benutzte Balance-Gerät ist zum Training ebenfalls sehr gut geeignet, da es sowohl mit stabiler als auch mit bewegter Standfläche benutzbar und der Trainingseffekt objektivierbar ist.

Aufgrund unserer Untersuchungsergebnisse mit dem Balance-Gerät ist ein Training mit stabiler Standfläche und geschlossenen Augen zu bevorzugen, da hierbei visuelle Informationen und Informationen des Gleichgewichtsorgans fehlen und somit das propriozeptive System am stärksten gefordert ist.

Zur Prophylaxe ist die Effektivität extern stabilisierender Maßnahmen (unter anderem Tape oder Orthese) allgemein anerkannt. Eine Aufnahme des Reflexttrainings auf neurophysiologischer Grundlage in das normale Trainingsprogramm, insbesondere bei sprunggelenksgefährdeten Sportarten, ist zur Prophylaxe einer Instabilität am Sprunggelenk besonders zu empfehlen.

10. LITERATURVERZEICHNIS

1. BAHR R,
 BAHR IA: Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. Scand. J. Med. Sci. Sports 7: 166-171, 1997
2. BAUMGÄRTEL F: Sportverletzungen im Bereich der Knöchelgabel. OP-Journal 8, 1992
3. BLACKBURN JT,
 GUSKIEWICZ KM,
 PETSCHAUER M,
 PRENTICE W: Balance and joint stability: the relative contributions of proprioception and muscular strength. J. Sport Rehabil. 9: 315-328, 2000
4. BLACK FO: Normal subject postural sway during the Rombergtest. Am. J. of Otolaryngology 3: 309-318, 1982
5. BRINER WW Jr,
 KACMAR L: Common injuries in volleyball. Mechanisms of injury, prevention and rehabilitation. Sports-Med. 24: 65-71, 1997
6. BROWN TD,
 MICHELI LJ: Foot and ankle injuries in dance. Am. J. Orthop. 33: 303-309, 2004
7. CASTAING J,
 LECHEVAILLIER P,
 MUENIER M: Entorse à répétition ou subluxation récidivante de la tibiotarsienne. Une technique simple de la ligamentoplastie externe. Rev. Chir. Orthop. 47: 598, 1961
8. DELPLACE J,
 CASTAING J: Place de la rééducation proprioceptive dans les instabilités musculo-ligamentaires externes de la cheville. A propos de 40 premiers cas (méthode de Freeman). Med. Phys. 18: 605-617, 1975
9. DEMERITT KM,
 SHULTZ SJ,
 DOCHERTY CL,
 GANSNEDER BM,
 PERRIN DH: Chronic ankle instability does not affect lower extremity functional performance. J. of Athletic Training 37: 507-511, 2002

10. DIENER HC,
DICHGANS J,
MAU H: The significance of proprioception on postural
 stabilization as assed by GUSCHLBAUER B,
 ischemia.
 Brain research 296: 103-109, 1984

11. DI GIOVANNI BF,
PARTAL G,
BAUMHAUER JF: Acute ankle injury and chronic lateral instability in
 the atheletics.
 Clin. Sports Med. 23: 1-19, 2004

12. EGGERT A: Zur Therapie von Außenknöchelbandverletzungen.
 Unfallchirurg 89: 316-320, 1986

13. EVANS GA,
HARDCASTLE P,
FRENYO AD: Acute rupture of the lateral ligament to the ankle.
 To suture or not to suture?
 Brit. Editorial Soc. Bone Joint Surg. 66B: 209-212,
 1984

14. FERRELL WR,
GANDEVIA SC,
C CLOSKEY DI: The role of joint receptors in human kinesthesia
 when intramuscular receptors annot contribute.
 J. Physiolog. 386: 63-71, 1987

15. FRANKE K: Traumatologie des Sports.
 Thieme Verlag, 1986

16. FREEMAN MAR: Instabilities of the foot after injuries to the lateral
 ligament of the ankle.
 J. Bone Joint Surg. 47B: 669, 1965a

17. FREEMAN MAR,
DEAN MRE,
HANHAM IWF: The etiology and prevention of functional
 instability of the foot.
 J. Bone Joint Surg., 47B: 678-685, 1965b

18. FREEMAN MAR,
WYKE BD: Articular reflexes at the ankle joint: an electromyo-
 graphic study of normal and abnormal influences
 of ankle-joint mechano receptors upon reflex activity
 in the leg muscles.
 Brit. J. Surg. 54: 990-1001, 1967

19. GANDEVIA SC,
MC CLOSKEY DI: Jonit sense, muscle sense, and their combination
 as position sense, measured at the distal interpha-
 langeal joint of the middle finger.
 J. Physiology 260: 387-407, 1976

20. GARRICK JG: Role of external support in the prevention of ankle sprains.
Med. Sports Sci. 5: 200-203, 1973
21. GAUFFIN H,
TROPPE H,
ODENRICK P: Effect of ankle disc training on postural control in patients with functional instability of the ankle.
Int. J. Sports Med. 9: 141-144, 1988
22. GLEITZ M,
RUPP S,
HESS T,
HOPF T: Einfluß des Reflext Trainings auf die Stabilisierung chronisch instabiler Sprunggelenke.
Orthop. Praxis 28: 498-501, 1992
23. GLENCROSS D,
THORNTON E: Position sense following joint injury.
J. Sports Med. 21: 23-27, 1981
24. GOLLHOFER A,
SCHEUFFELEN C,
LOHRER H: Neuromuskuläre Stabilisation im oberen Sprunggelenk nach Immobilisation.
Sportverletzungen-Sportschäden 7: 23-28, 1993
25. GRIGG P,
FINEMAN GA,
RILEY LH: Joint position sense after total hip replacement.
J. Bone Joint Surg. 55A: 1016-1025, 1973
26. GROSS MT: Effect of recurrent lateral ankle sprains on active and passive judgement of joint position.
Physical Therapy 10: 67-69, 1987
27. HERTEL J: Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability.
J. of Athletic Training 37: 364-375, 2002
28. HESS D,
JOYCE C,
ARNOLD B,
GANSNEDER B: Effect of a 4-week agility-training program on postural sway in the functionally unstable ankle.
J. Sport Rehabil. 10: 24-35, 2001
29. HESS H: Weichteilverletzungen: Muskelverletzungen-Sprunggelenksbandverletzungen.
Rheumatologie-Orthopädie 1: Sportverletzungen und Überlastungsschäden
Ciba-Geigy Verlag, 1992

30. HILLER CE,
REFSHAUGE KM,
BEARD DJ: Sensorimotor control is impaired in dancers with functional ankle instability.
Am. J. Sports Med. 32: 216-223, 2004
31. HINTERMANN B: Medial ankle instability.
Foot Ankle Clin. 8: 723-738, 2003
32. HUBBARD TJ,
KAMINSKI TW,
VANDER GRIEND RA,
KOVALESKI JE: Quantitative assessment of mechanical laxity in the functional unstable ankle.
Med. Sci. Sports Exerc. 36: 760-766, 2004
33. INMAN VT: The joints of the ankle.
Williams and Wilkins, Baltimore, 1976
34. JÄGER M,
WIRTH CJ: Kapselbandverletzungen
Thieme Verlag, 1978
35. JEROSCH J,
CASRTO WHM,
HOFFSTETTER I,
BISCHOF M: Propriozeptive Fähigkeiten bei Probanden mit stabilen und instabilen Sprunggelenken.
Deutsche Zeitschrift für Sported. 10, 1994
36. JEROSCH J,
PORTEN M: Einfluss von Stabilisierungshilfen am oberen Sprunggelenk auf sensomotorische und sportpraktische Fertigkeiten.
Orthopädische Praxis 37: 313-326, 2001
37. KAPANDJI IA: Funktionelle Anatomie der Gelenke untere Extremität.
Bücherei des Orthopäden 47, 1985
38. KLEIN J,
RIXEN D,
ALBRING TH,
TILING TH: Funktionelle versus Gipsbehandlung bei der frischen Außenbandruptur des oberen Sprunggelenkes.
Unfallchirurg 94: 99-104, 1991
39. KNAEPLER H,
POHLMANN J,
SCHNABEL M: Zur Epidemiologie von Sportverletzungen unter besonderer Berücksichtigung der Bandverletzung am Sprunggelenk.
H. Unfallheilk. 204, 1989
40. KONRADSEN L,
RAVN JB: Ankle instability caused by prolonged peroneal time.
Acta Orthop. Scand. 61(5): 388-390, 1990

41. KONRADSEN L,
RAVN JB: Prolonged peroneal reaction time in ankle instability.
Int. J. Sports Med. 12: 290-292, 1991

42. LANZ von T,
WACHSMUTH W: Praktische Anatomie, Band I, Teil 4, Bein und Statik, VI: Pes, der Fuß.
Springer Verlag, 1972

43. LIPPKE K,
TANNHEIMER M,
BENESCH S,
GERNGROSS H,
BECKER HP,
SCHMIDT R: Die peroneale Reaktionszeit: Untersuchung in einem Normalkollektiv.
Unfallchirurg 104: 1157-1161, 2001

44. MATTACOLA CG,
DWYER MK: Rehabilitation of the Ankle After Acute Sprain or Chronic instability.
J. of Athletic Training 37: 413-429, 2002

45. MC CLOSKEY DI: Kinesthetic sensibility.
Phys. Rev. 58: 763-820, 1978

46. MC KINLEY TO,
RUDERT MJ,
KOOS DC,
BROWN TD: Incongruity versus instability in the etiology of post-traumatic arthritis.
Clin Orthop. 423: 44-51, 2004

47. MORSCHER R,
BRUNMANN JU,
HEFTI F: Die Calcaneus-Osteotomie nach Dwyer, kombiniert mit lateraler Bandplastik bei rezidivierender Distorsio pedis.
Z. Unfallmed. Berufskr. 74: 85, 1981

48. MUTSCHLER W,
RÜBENACKER F: Verletzungsmechanik und Verletzungsmorphologie der Bandverletzungen am Sprunggelenk.
H. Unfallheilk. 204, 1989

49. ORTHNER E: Wertigkeit klinischer und radiologischer Diagnostik bei Kapselbandverletzungen am Sprunggelenk.
H. Unfallheilk. 204, 1989

50. RASSMUSSEN O: Experimental ankle injuries. Analysis of the traumatology of the ankle ligaments. Acta Orthop. Scand. 54: 356, 1983
51. RIEMANN BL, MYERS JB, STONE DA, LEPHART SM: Effect of lateral ankle ligament anesthesia on single-leg stance stability. Med. Sci. Sports Exerc. 36: 388-396, 2004
52. SCHEUFFELEN C: Der Einfluß von Sprunggelenksorthesen auf Bewegungsexkursion und neuromuskuläre Aktivität beim Laufen. Orthop. Praxis 28: 502-505, 1992
53. SCHENKER M: Tape versus Mikros. Eine experimentelle Untersuchung zum Einfluß äußerer Stabilisationshilfen auf die Propriozeption am Fußgelenk. Diplomarbeit in Physiotherapie, 1989
54. SCHMIDT R, RÖDERER M, BENDER A, MOISESCU R, GERNGROSS H: Physiologie und klinische Relevanz der Propriozeption am Sprunggelenk. Orthopädische Praxis 36: 617-621, 2000
55. STEINBRÜCK K: Epidemiologie von Sportverletzungen. Rheumatologie-Orthopädie 1, Sportverletzungen und Überlastungsschäden. Ciba-Geigy Verlag, 1992
56. STEINBRÜCK K: Fibulo-tarsale Bandverletzungen beim Sportler. Sportorthopädie-Sporttraumatologie 12.1: 1-8, 1996
57. SURVE I, SCHWELLNUS T, NOAKES T, LOMBARD C: A Fivefold Reduction in the Incidence of Recurrent Ankle Sprains in Soccer Players Using the Sport-Stirrup Orthosis. Am. J. Sports Med. 22: 601-606, 1994
58. THONARD JL: La pathogénie de l'entorse de la cheville: test d'une hypothèse. Medica Physika 9: 141-146, 1986

59. TRIEBEL HJ, AHLERS J: Radiologische Diagnostik der Verletzungen von Knochen und Gelenken. Thieme Verlag, 1993
60. TROPP H, EKSTRAND J, GILLQUIST J: Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. Med. Sports Sci. 16: 64-66, 1984a
61. TROPP H, EKSTRAND J, GILLQUIST J: Factors affecting stabilometry recordings of single limb stance. Am. J. Sports Med. 12: 185-188, 1984b
62. TROPP H, ASKLING C: Prevention of ankle sprains. Am. J. Sports Med. 13: 259-262, 1985a
63. TROPP H, ODENRICK P, GILLQUIST J: Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint. Int. J. Sports Med. 6: 180-182, 1985b
64. TROPP H: Pronator muscle weakness in functional instability of the ankle joint. Int. J. Sports Med. 7: 291-294, 1986
65. TROPP H, ASKLING C: Effects of ankle disc training on muscular strength and postural control. Clinical Biomechanics 3: 88-91, 1988a
66. TROPP H, ODENRICK P: Postural control in single-limb stance. J. Orthop. Res. 6: 833-839, 1988b
67. WATSON J: Sports injury during one academic year in 6799 Irish school children. J. Sports Med. 12, 1984
68. WIRTH CJ: Biomechanische Aspekte der fibularen Bandplastik. H. Unfallheilk.133, 1978
69. ZILCHNER L: Akute Verletzungen am oberen Sprunggelenk. Verlag Troponwerke GmbH, 1990
70. ZIMMERMANN M: Das somatoviscerale sensorische System. Physiologie des Menschen. Hrsg.: Schmidt RF, Thews G, Springer Verlag, 1987

71. ZWIPP HM: Die anterolaterale Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenkes.
H. Unfallheilk. 177: 1-135, 1986
72. ZWIPP HM: Funktionelle Anatomie und Biomechanik der Sprunggelenke.
H. Unfallheilk. 204, 1989

11. ANHANG

11.1. Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde in der Orthopädischen Universitätsklinik Homburg/Saar erstellt. Herrn Prof. Dr. med. Dr. h.c. Mittelmeier gebührt besonderer Dank für seine stete Förderung wissenschaftlicher Tätigkeit.

Herrn Prof. Dr. med. Hopf möchte ich danken für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für seine Betreuung und wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung der Dissertation bis 1999.

Ein ganz besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. med. Rupp für die Übernahme und Weiterführung der Betreuung bis zur Fertigstellung der Dissertation.

Mein Dank gilt Herrn Dr. med. Gleitz und Herrn Dr. med. Hess für die Hilfe bei der statistischen Datenauswertung und für die Beratung bei auftretenden Problemen.

Ein spezieller Dank richtet sich an meine Familie für ihre Unterstützung und an die Dres. Maue/Hassinger aus der Orthopädischen Gemeinschaftspraxis in Zweibrücken und Herrn Dr. med. Blandfort, niedergelassener Chirurg in St. Ingbert, für die Hilfe bei der Zusammenstellung von geeigneten Versuchsteilnehmern.

11.2. Lebenslauf

Name: Udo Krück

Straße: Nussbaumstraße 8

Wohnort: 66424 Homburg

Telefon: 06841/65412

Geburtsdatum: 23.01.1967

Geburtsort: Landstuhl

Familienstand: verheiratet, zwei Töchter

Nationalität: deutsch

Schulausbildung: 1973-1977 Grundschule Bruchmühlbach-Miesau
1977-1986 Staatl. Christian v. Mannlich Gymnasium, Homburg/Saar; Abschluss Abitur

Militärdienst: 1986-1987 Grundwehrdienst

Oktober 1987	Beginn des Studiums der Humanmedizin in Homburg/Saar
August 1989	Ablegen der Ärztlichen Vorprüfung
August 1990	Ablegen des Ersten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung
März 1993	Ablegen des Zweiten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung
April 1993- März 1994	Ausbildung im Praktischen Jahr an den Saarbrücker Winterbergkliniken
April 1994	Ablegen des Dritten Abschnitts der Ärztlichen Vorprüfung
01.06.1994- 30.11.1995	AiP in der Gemeinschaftspraxis für Orthopädie und Rheumatologie Dr. Maue/Dr. Hassinger, Zweibrücken. Betreuung der Belegarztteilung im Evangelischen Krankenhaus Zweibrücken. Nachmittags Mitarbeit in der Praxis; 1 x wöchentlich OP-Tag im Evangelischen Krankenhaus Zweibrücken.
01.12.1995- 31.05.1996	Weiterbildungsassistent in der Gemeinschaftspraxis für Orthopädie und Rheumatologie Dr. Maue/Dr. Hassinger, Zwei- brücken.
01.06.1996- 31.03.1997	Ende der Weiterbildungsberechtigung; vorübergehende Weiterbeschäftigung als Assistenzarzt zur Betreuung der Beleg- arztteilung (Teilzeitarbeit) im Evangelischen Krankenhaus Zweibrücken.

01.04.1997- 31.03.2000	Assistenzarzt in der chirurgischen Abteilung des Caritas Krankenhauses Dillingen/Saar
01.04.2000- 31.12.2004	Assistenzarzt in der orthopädischen Abteilung der St. Elisabeth Klinik Saarlouis
26.02.2003	Ablegen der Facharztprüfung im Fach Orthopädie gemäß der Weiterbildungsordnung für die Ärzte des Saarlandes vom 01. Oktober 1994
18.05.2003	Ablegen der Abschlussprüfung nach den Richtlinien des Ärzte- seminars Hamm-Boppard (FAC) e.V. für den Bereich Chiro- therapie
Seit 01.01.2005	Niedergelassener Facharzt in der Orthopädischen Gemein- schaftspraxis Schmieden, Dr. med. Fricke und Krück in Neunkirchen